

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARCELO BRAGA DE OLIVEIRA

DISPOSITIVO DE AUXÍLIO À MARCHA COM ASSENTO EMBUTIDO

**São Leopoldo
2021**

MARCELO BRAGA DE OLIVEIRA

DISPOSITIVO DE AUXÍLIO À MARCHA COM ASSENTO EMBUTIDO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, pelo Curso de
Engenharia Mecânica da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Walter Andrey Fontana

São Leopoldo

2021

AGRADECIMENTOS

Ofereço aqui meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a execução e conclusão das etapas deste projeto.

Agradeço em especial a minha namorada e companheira, Ms. Milena Riboli, pelo auxílio nas infinitas revisões de texto e os incentivos necessários para o andamento deste trabalho.

Meu agradecimento também ao professor e orientador, Dr. Walter Fontana, pela paciência e a orientação tão necessária para a execução deste trabalho.

RESUMO

Esse trabalho engloba o processo de desenvolvimento de uma bengala com assento embutido, abrangendo as seguintes etapas de desenvolvimento de produto: determinar os requisitos do produto para o público-alvo, sendo este composto principalmente por pessoas idosas, desenvolver os conceitos iniciais, eleger a configuração com maior viabilidade, analisar seus parâmetros estruturais e fabricar o protótipo para realização de testes de desempenho. Este processo visa criar um produto original, aliando um *design* discreto com um manuseio simples, resultando em uma bengala que possa ser convertida facilmente em um assento de descanso. Com estes objetivos em mente, foram utilizadas ferramentas QFD para quantificar a percepção do usuário, criando dados de entrada para o desenvolvimento do projeto, resultando em análises estruturais teóricas e práticas (através do protótipo construído). Foram realizados testes de desempenho ergonômico e de resistência, de forma a comprovar a eficácia dos cálculos de análise de tensões e a simulação FEA. Por fim, foram levantados os custos de produção, prevendo um lote maior de peças, e as possíveis melhorias de projeto, constatadas através do conjunto montado para avaliação. Com base em todos os estudos efetuados, concluiu-se que o projeto atendeu os objetivos propostos, mas com ressalvas pertinentes ao conforto do assento, deixando espaço para futuras melhorias de projeto.

Palavras-chave: Bengala. Dispositivo de auxílio a marcha. Tecnologia assistiva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Casa da Qualidade.....	23
Figura 2 – Matriz Casa da Qualidade, seção Especificações do Consumidor	24
Figura 3 – Matriz Casa da Qualidade, seção Especificações de Engenharia	24
Figura 4 - Matriz Casa da Qualidade, seção do “telhado”	25
Figura 5 - Matriz Casa da Qualidade, seções Importância e Pesos de Importância .	25
Figura 6 - Matriz Casa da Qualidade, seção Avaliação Comparativa	26
Figura 7 - Exemplos de adaptação para lápis	30
Figura 8 – Tipos de muletas.....	33
Figura 9 – Tipos de andadores.....	34
Figura 10 – Tipos de bengalas	35
Figura 11 - Diferentes tipos de empunhaduras para bengalas.....	36
Figura 12 – Bengala com pegador/banco registrada na patente MU 7700375-6 U...	39
Figura 13 – Bengala com assento dobrável registrada na patente PI 9401622-4 A..	40
Figura 14 - Bengala com assento dobrável registrada na patente MU 7200572-6 U	41
Figura 15 - Bengala com assento dobrável registrada na patente PI 8705673-9 A ..	41
Figura 16 – Pesquisa pelo termo <i>walking stick with seat</i> no <i>Google Patents</i>	42
Figura 17 - Bengala com assento dobrável patente europeia EP2692263B1, assento distendido	43
Figura 18 - Bengala com assento dobrável patente europeia EP2692263B1, assento recolhido.....	44
Figura 19 - Projeto desenvolvido por Jordan Lau Tsz Chun, Instituto de Design de Hong Kong	45
Figura 20 – Fluxograma da metodologia aplicada no trabalho.....	46
Figura 21 – Exemplo de como as perguntas foram dispostas no questionário	47
Figura 22 – Casa da Qualidade do projeto bengala com assento embutido	49
Figura 23 – Casa da Qualidade preenchida com dados coletados e análise	59
Figura 24 – Imagem representativa da configuração nº 1	61
Figura 25 - Imagem representativa da configuração nº 2.....	62
Figura 26 - Imagem representativa da configuração nº 3.....	63
Figura 27 - Imagem representativa da configuração nº 4.....	64
Figura 28 – Estrutura unifilar da bengala com assento aberto	66
Figura 29 – Adaptação da estrutura unifilar para o modelo 3D	69

Figura 30 – Componente soldado para fixação das pernas/suportes	70
Figura 31 – Dimensional da bucha e dos pinos usinados	70
Figura 32 – Braços estabilizadores	71
Figura 33 – “Ganchos” e parafusos limitadores de curso de fechamento	72
Figura 34 – Dimensional dos braços estabilizadores e dos pinos de fixação.....	72
Figura 35 – Dimensional da barra principal (esquerda) e barras secundárias (direita)	73
Figura 36 – Assento aberto	74
Figura 37 - Geometria e dimensões da empunhadura	74
Figura 38 – Produto montado e vista explodida com identificação dos itens	76
Figura 39 - Estudo de movimento dos componentes	77
Figura 40 – Forças distribuídas no assento	77
Figura 41 – Forças e reações na barra principal	78
Figura 42 – Forças e reações na barra principal rotacionada	79
Figura 43 – Inclinação da reação RA'	81
Figura 44 – Detalhe da reação RA' nos pinos analisados	82
Figura 45 – Detalhe da reação RB no pino analisado	84
Figura 46 – Detalhe da reação RA' no braço	85
Figura 47 – Momento fletor gerado no ponto B.....	86
Figura 48 – Restrição inferior das pernas	88
Figura 49 – Resultado da análise FEA com detalhe <i>Isocorte</i> (à direita).....	89
Figura 50 – Desenhos para fabricação	90
Figura 51 – Ciclo de teste de aplicação da carga sobre o assento	98
Figura 52 – Alteração dos pontos de fixação do assento.....	102

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Barras usinadas e fresadas.....	91
Fotografia 2 – Suporte fixo e suporte deslizante soldados.....	91
Fotografia 3 – Empunhadura impressa em 3D.....	91
Fotografia 4 – Braços estabilizadores/articuladores e pinos de fixação.....	92
Fotografia 5 – Pés antideslizantes de borracha (NBR).....	92
Fotografia 6 – Conjunto montado, bengala com assento aberto.....	93
Fotografia 7 – Destaque da articulação fixa e limitadores de curso.....	94
Fotografia 8 – Bengala com assento fechado.....	94
Fotografia 9 – Bengala aberta com dimensões principais.....	95
Fotografia 10 – Indicação dos pontos de travamento.....	96
Fotografia 11 – Mistura de granalha de aço e restos de peças estampadas.....	96
Fotografia 12 – Verificação do peso do galão na balança digital.....	97
Fotografia 13 – Disposição da carga de teste sobre o assento.....	98
Fotografia 14 – Posição do usuário no assento.....	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação de idade dos respondentes ao questionário QFD.....	56
Gráfico 2 – Intenção de uso do produto	57

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DAM	Dispositivo de Auxílio à Marcha
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> (Modelagem por Fusão e Deposição)
FEA	<i>Finite Element Analysis</i> (Análise de Elementos Finitos)
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NBR (2)	<i>Nitrile Butadiene Rubber</i> (Borracha de Nitrilo Butadieno)
OMS	Organização Mundial da Saúde
PLA	Polylactic acid (Poliácido Láctico)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da Função Qualidade)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
VOC	<i>Voice of the Customer</i> (Voz do Consumidor)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seleção adequada dos dispositivos de marcha	32
Tabela 2 - Patentes relacionadas aos termos “bengala” e “muleta” no banco de dados do INPI.....	37
Tabela 3 - Patentes relacionadas aos termos “bengala” e “muleta” no banco de dados do INPI (continuação).....	38
Tabela 4 – Classificação das especificações conforme nota dos consumidores	58
Tabela 5 – Levantamento de custos	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Tema	13
1.2	Delimitação do Tema	14
1.3	Problema	14
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo Geral	14
1.4.2	Objetivos Específicos	15
1.5	Justificativa	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Definições	18
2.1.1	Projeto	18
2.1.2	Máquina	18
2.1.3	Projetista mecânico	19
2.2	Execução do projeto mecânico	19
2.3	Projeto de produto	21
2.3.1	Desdobramento da Função Qualidade (<i>QFD</i>)	21
2.3.2	Aplicação da Voz do Consumidor (<i>VOC</i>) para elaboração de requisitos de produto	26
2.4	Tecnologia assistiva: conceitos, legislação	28
2.5	Tecnologias e equipamentos para apoio à caminhada	31
2.5.1	Muletas	32
2.5.2	Andadores	33
2.5.3	Bengalas	34
2.6	Estado da arte: patentes e dispositivos disponíveis para a aplicação	36
2.6.1	Patentes nacionais	36
2.6.2	Patentes internacionais	42
2.6.3	Dispositivos sem patente registrada	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	Projeto do produto	46
3.1.1	<i>QFD</i>	46
3.1.2	Requisitos	49
3.1.3	Concepções de produto	50

3.2	Projeto mecânico	50
3.2.1	Análise de mecanismo	50
3.2.2	Análise de tensões	51
3.3	Técnicas de fabricação aplicadas	54
3.4	Análise de desempenho do produto	54
3.4.1	Análise de desempenho e resistência estrutural	54
3.4.2	Ergonomia.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Resultados do QFD	56
4.2	Conceitos iniciais	60
4.2.1	Configuração número 1	60
4.2.2	Configuração número 2.....	61
4.2.3	Configuração número 3.....	62
4.2.4	Configuração número 4.....	63
4.3	Cruzamento dos dados QFD com os conceitos propostos	64
4.4	Desenvolvimento e projeto	65
4.4.1	Determinação das dimensões.....	66
4.4.2	Projeto conceitual.....	68
4.5	Resultados dos cálculos das tensões	77
4.5.1	Determinação das forças e reações.....	77
4.5.2	Cálculos das tensões resultantes.....	82
4.6	Resultados das análises FEA	88
4.7	Prototipagem e processo de fabricação	90
4.8	Resultados dos testes de desempenho e análise estrutural	95
4.8.1	Teste do mecanismo de abertura do assento	95
4.8.2	Teste de resistência	96
4.9	Resultados dos testes ergonômicos	99
4.10	Análise de custos	100
4.11	Alterações e melhorias decorrentes das análises do protótipo	101
5	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil o número de pessoas idosas (acima de 65 anos) já representa 9,83% da população brasileira, sendo que este percentual deve crescer para 25,5% até o ano de 2060. Isto significa que, até 2060, o número estimado de pessoas idosas passará de 20,9 milhões para aproximadamente 58,2 milhões, isto apenas no Brasil (IBGE, 2020).

Com base nesse crescimento, tem-se uma grande demanda por serviços que atendam às necessidades de pessoas na terceira idade, proporcionando às mesmas uma maior qualidade de vida e independência. Infelizmente, esta necessidade por serviços não é atendida em quantidade proporcional ao crescimento da população idosa, criando uma carência por desenvolvimentos voltados à essa faixa etária.

Este trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, visa contribuir à área de desenvolvimento de dispositivos de auxílio à marcha para pessoas idosas. Para tal, objetiva-se aqui a criação de um produto caracterizado por ser uma bengala que possa ser convertida em um assento, proporcionando ao usuário a possibilidade de se sentar e descansar sempre que julgar necessário.

Para tal desenvolvimento, serão utilizadas ferramentas de coleta de dados para determinar as especificações do consumidor e, com base nisso, criar três conceitos de produto, elegendo a configuração que melhor atende às especificações levantadas. Tendo a configuração escolhida, será elaborado o projeto com a criação do conceito em software CAD, seguido do correto dimensionamento e detalhamento dos componentes e análises de tensão. Este trabalho também abrangerá a fabricação do protótipo e os testes de desempenho, visando criar um produto de design simples e de fácil manuseio coerente com as necessidades de uma pessoa com deficiência de mobilidade.

1.1 Tema

Este trabalho terá como tema o processo criativo de estudo e projeto de um dispositivo auxiliar de locomoção, definido como um híbrido de bengala e assento,

de forma que este possa ser utilizado por pessoas que possuam dificuldades para caminhar e/ou dificuldades em se manter em pé por longos períodos de tempo.

1.2 Delimitação do Tema

Este trabalho delimita-se à abordagem do processo criativo e às técnicas básicas características do desenvolvimento de um projeto mecânico, bem como à aplicação dos conceitos de desenho e dimensionamento dos componentes. Posteriormente à etapa de projeto segue-se o acompanhamento da fabricação, montagem e testes do conceito de bengala/assento desenvolvido.

1.3 Problema

Existem modelos no mercado atual que se caracterizam por servir como bengala e assento. Porém estes modelos apresentam *designs* que são meramente híbridos de bengalas/cadeiras, normalmente volumosos e de difícil manuseio. Estes conceitos acabam por chamar muito a atenção em relação à dependência em um objeto de assistência, desencorajando o usuário a usá-los em público e impedindo que o conceito, apesar de eficaz, seja difundido entre aqueles que mais o necessitam.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral consiste em criar e desenvolver um conceito original de um dispositivo auxiliar de locomoção que possa ser convertido facilmente em um assento, proporcionando uma forma com a qual o usuário possa caminhar com o auxílio normal de uma bengala e, concomitantemente, tenha a seu dispor um aparato onde possa se sentar e descansar após períodos extensos de caminhada.

Este conceito, quando convertido em uma bengala, deve aliar um *design* simples, compacto e elegante com um manuseio fácil e eficiente, coerente com as necessidades de uma pessoa com deficiência de mobilidade.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Determinar os requisitos do produto para o público ao qual o projeto se destina, sendo este composto principalmente por pessoas idosas que possuem dificuldades com locomoção e que fazem uso de dispositivos auxiliares de marcha;
- b) Estabelecer quatro configurações de projeto para avaliação de viabilidade de produto;
- c) Elegger a configuração mais promissora e com maior viabilidade e analisar seus parâmetros estruturais;
- d) Fabricar o produto com base no projeto eleito e considerando as análises efetuadas;
- e) Realizar testes de desempenho visando aprimorar o projeto e verificar a viabilidade da ideia;
- f) Criar um produto que equilibre a imagem e as necessidades físicas do usuário, minimizando a exposição do mesmo em relação à dependência em um objeto de auxílio.

1.5 Justificativa

Com o passar da idade a habilidade de caminhar apresenta uma queda de performance bastante acentuada. Quando comparado com jovens adultos, idosos acima de 70 anos andam com um custo metabólico entre 15 e 30% maior, ao mesmo tempo em que as propriedades de distribuição de massa e as propriedades fisiológicas do sistema locomotor (perda de massa muscular, os sinais neurais tornam-se mais lentos) também se alteram e perdem eficiência (SONG e GEYER, 2018).

Paralelamente à degradação do sistema locomotor, tem-se também a redução de eficiência dos sistemas responsáveis pelo equilíbrio do corpo. O equilíbrio é o resultado do controle do centro de gravidade e a estabilização do mesmo de forma que sua projeção vertical fique dentro da área de sustentação. Enquanto esta condição for atendida, o sistema se mantém estável e o corpo não tomba (ASSIS e RAVANELLI, 2008). O senso de equilíbrio é requerido

continuamente pelo sistema locomotor de forma que as alterações de posição do corpo possam sempre atender a condição acima. Para manter o equilíbrio e a postura corporal, existe um fluxo contínuo de informações sobre a posição e o movimento de todas as partes do corpo, incluindo a cabeça e os olhos. Manter o equilíbrio significa uma ação colaborativa de diversos sistemas principalmente da estrutura muscular e do sistema nervoso. Estes sistemas, com o passar da idade, tendem a ter sua eficiência reduzida, afetando a postura e o equilíbrio de forma bastante negativa (DOGRU, KIZILCI, *et al.*, 2016).

Devido a estes fatores, idosos tendem a utilizar sistemas de auxílio para locomoção de forma a corrigir a postura e melhorar a sustentação, evitando quedas e reduzindo a fadiga muscular. Neste sentido, a bengala é o sistema de auxílio preferido, pois é o mais fácil de usar e o mais aceito pela sociedade (DOGRU, KIZILCI, *et al.*, 2016). Além disso, o uso da bengala permite que o usuário possa continuar a se locomover e caminhar, o que representa um exercício com grandes benefícios ao idoso. Estudos sugerem que o risco de doenças coronárias é reduzido conforme o aumento dos exercícios de caminhada, e a taxa de mortalidade entre idosos é menor entre aqueles que realizam o exercício rotineiramente. Assim salienta-se a importância de se incentivar as atividades físicas, mesmo que leves, em pessoas idosas (HAKIM, PETROVITCH, *et al.*, 1998).

Infelizmente, paralelamente aos benefícios das caminhadas, tem-se que considerar também que a fadiga em idosos é bastante comum. A fadiga tende a aumentar gradativamente com o avanço da idade, atingindo até 50% dos idosos, e esse fenômeno decorre da perda da massa muscular que advém com o envelhecimento. Isto gera uma redução, causada pelo exercício, da capacidade do sistema neuromuscular de gerar força (BARROS e DIAS, 2014). Considerando também este fator, é justificável o uso de uma bengala que possa também proporcionar ao usuário um assento para o descanso após a atividade física ou no decorrer de atividades rotineiras.

Apesar da já existência de modelos híbridos entre bengala e cadeira no mercado, justifica-se o desenvolvimento de um modelo, por assim dizer, mais compacto, uma vez que é existente a estigmatização para com os usuários de dispositivos de locomoção, e quanto mais discreto for este dispositivo, menos dependente deste o usuário será percebido pela sociedade (RESNIK, ALLEN, *et al.*, 2009).

“As pressões sociais e o estigma percebido dificultam o uso de dispositivos auxiliares de locomoção, particularmente em populações minoritárias. Um maior envolvimento dos médicos, exemplos positivos e dispositivos acessíveis, seguros e visualmente atraentes promoveriam uma maior aceitação dos auxiliares de mobilidade”¹ (RESNIK, ALLEN, *et al.*, 2009).

Em paralelo às justificativas já apresentadas, o projeto de uma bengala que possa ser convertida em um assento representa um desafio interessante do ponto de vista do projeto, fabricação e testes, permitindo a aplicação de conhecimentos derivados de diversas áreas da Engenharia Mecânica. Além disto, este projeto tem o potencial de abrir caminho para um estudo mais profundo, de forma a gerar um produto viável e que possa trazer reais benefícios ao usuário final.

¹ Tradução do autor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho abordará os campos de conhecimento utilizados para o desenvolvimento do produto proposto. Como a primeira etapa do desenvolvimento de um produto é a concepção da ideia, este trabalho trará alguns conceitos relacionados às técnicas de execução do projeto em si. Também serão abordados conceitos e legislações relacionados a tecnologias assistivas, especificidades sobre bengalas e muletas e patentes/dispositivos disponíveis para aplicação.

2.1 Definições

2.1.1 Projeto

O ato de projetar possui diversas definições. Segundo o dicionário Michaelis, pode-se definir a palavra projetar como idealizar, criar, planejar. De certa forma, aqui o conceito de projeto abordado é aquele que não possui fins estéticos, mas funcionalidades específicas, ou seja, o projeto de engenharia. Conforme Norton (2013) cita em seu livro *Projeto de Máquinas: Uma abordagem Integrada*, o projeto de engenharia pode ser definido como “O processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização”. O autor também deixa claro que “...peças mecânicas devem ser projetadas por engenheiros, não desenhadas por artistas, muito embora o engenheiro consiga expressar sua arte quando está projetando peças mecânicas.” Sendo assim, o projetista mecânico não está completamente proibido de buscar formas esteticamente agradáveis, porém deve priorizar a funcionalidade que cada componente possui dentro da máquina desejada.

2.1.2 Máquina

Uma máquina pode ser definida como um dispositivo que é consistido por partes fixas e móveis que redireciona energia mecânica de forma a executar uma tarefa específica (Machine, 2020). Este “redirecionamento” de energia é atingido

através do movimento e da aplicação de forças, sendo tarefa do projetista definir e calcular estas forças e movimentos, dimensionando e selecionando os materiais adequados para os diversos componentes da máquina. Caso a máquina não possua partes móveis, esta pode ser considerada apenas uma *estrutura*, embora a mesma não esteja livre de fatores externos que a levem a se movimentar, sendo função do projetista mecânico levantar todas as variáveis que possam ser relevantes à integridade física do projeto (NORTON, 2013)

2.1.3 Projetista mecânico

De acordo com Mott (2004), o projetista mecânico, ou engenheiro de produto, é um profissional que utiliza em suas tarefas diárias uma ampla variedade de habilidades e conhecimentos. Estes incluem esboços a mão livre, desenho técnico, e desenho assistido por computador (CAD), além de conhecimentos teóricos em propriedades de materiais, processos de manufatura, propriedades químicas, cinemática de mecanismos, mecânica dos fluidos, termodinâmica, fundamentos dos fenômenos elétricos e controles industriais. Também são necessários domínio de conceitos de *design* experimental e teste de performance de materiais e sistemas mecânicos.

Estes conhecimentos/habilidades são necessários, alguns em maior ou menor grau, dependendo da tarefa a ser desenvolvida, no decorrer da execução do projeto mecânico.

2.2 Execução do projeto mecânico

O objetivo final do projeto mecânico é desenvolver um produto útil que satisfaça as necessidades do cliente e que seja seguro, eficiente, confiável, econômico e prático de manufaturar (MOTT, 2004).

O projetista mecânico deve ser capaz de prever as condições de falha, contornar estas condições analisando as tensões e deflexões, e então dimensionar cada elemento adequadamente para suportar as solicitações necessárias para o funcionamento da máquina projetada. Cada componente deverá ser dimensionado individualmente, porém no projeto de uma máquina, é comum que as geometrias das peças influenciem/interfiram nas geometrias das peças adjacentes. Desta

forma, primeiramente, o projetista optará pelo esboço inicial da máquina inteira, de forma a visualizar, posteriormente (e de forma mais clara) os componentes individuais (NORTON, 2013).

Como os elementos da máquina ainda não estão definidos, a forma como estes interagem entre si (forças, inércia, centro de massa) também não é clara, exigindo que o projetista “repita, ou volte a um estágio anterior do projeto” de forma a harmonizar esta interação entre os componentes. Este processo é conhecido como iteração. Até se alcançar o sucesso no projeto, várias iterações se fazem necessárias, envolvendo as análises de solicitações, alteração de geometrias, materiais, etc., em um processo cíclico que irá perdurar até se atingir o resultado necessário. Conforme explica Norton (2013), “ao analisarmos algo, provavelmente encontraremos lacunas, requerendo mais síntese e, então, mais análise *ad nauseam*, finalmente iterando para uma melhor solução”. A iteração em um projeto pode continuar indefinidamente, buscando sempre o aperfeiçoamento do projeto, até que o número de melhorias encontradas passe a tender a zero ou se atinja, por exemplo, o prazo máximo de execução do desenvolvimento.

O processo de iteração ocorre durante todo o desenvolvimento, podendo ser necessário o retorno a qualquer uma das etapas anteriores, apesar de que, uma má decisão em uma etapa prévia pode acabar gerando grandes atrasos e perdas.

O projeto pode ter que ser alterado depois de finalizado, gerando um grande custo. Projetar é essencialmente um exercício de trocas de vantagens e desvantagens. Geralmente, não existe uma solução bem-definida para um verdadeiro problema de projeto em engenharia (NORTON, 2013).

De forma a auxiliar no processo criativo e organizar as etapas de projeto, se faz necessária uma metodologia. Norton (2013) traz uma metodologia de desenvolvimento de projetos bastante interessante, que pode ser verificada a seguir:

- a) Identificação da necessidade: exposição inicial do problema;
- b) Pesquisa de suporte: desenvolvimento das informações de forma se compreender o problema;
- c) Definição dos objetivos: descrição mais detalhada e realista do que o produto se propõe a executar;
- d) Especificações de tarefas: especificação das tarefas que fecham o problema e limitam o seu alcance;

- e) Síntese: levantamento das alternativas de projeto independente de custo e qualidade;
- f) Análise: verificação da viabilidade das alternativas apresentadas;
- g) Seleção: determinação da solução mais promissora;
- h) Projeto detalhado: início do projeto, análises, levantamento de fornecedores;
- i) Protótipo e teste: fabricação da primeira unidade, conforme o projeto, normalmente utilizada para testes e levantamento de dados empíricos;
- j) Produção: produção em maior quantidade para avaliação dos processos fabris.

Apesar de existirem esse e demais modelos que servem como um guia para o desenvolvimento de produtos, é importante observar que dificilmente um desenvolvimento será linear.

[...] qualquer coisa é “jogo limpo” na metodologia de projetos, inclusive a redefinição do problema, se for necessário. Não se pode projetar de modo linear. São três etapas para a frente e duas (ou mais) para trás, até que você finalmente apareça com uma solução aproveitável (NORTON, 2013).

2.3 Projeto de produto

Tão importante quanto a execução do projeto, a incorporação das reais necessidades dos clientes no decorrer do desenvolvimento é uma ferramenta valiosa na determinação de sucesso de um produto. Serão abordadas aqui os conceitos de *QFD* - Desdobramento da Função Qualidade e a aplicação da *VOC* - Voz do Consumidor para elaboração de requisitos de produto.

2.3.1 Desdobramento da Função Qualidade (*QFD*)

A ferramenta *QFD* – Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment*), foi desenvolvida no Japão em 1966 pelo Dr. Yoji Akao, definindo a mesma como “um método para transformar demandas qualitativas dos usuários em parâmetros quantitativos, para implantar as funções que formam a qualidade e implantar métodos para alcançar a qualidade do projeto em subsistemas e componentes, e em elementos específicos do processo de manufatura” (AKAO, 1994).

Este método tem como objetivo traduzir as necessidades do cliente em requisitos de engenharia para um produto/serviço, priorizando as suas características enquanto ao mesmo tempo define metas de desenvolvimento para os produtos/serviços. Sendo assim, *QFD* é uma abordagem orientada ao cliente para a inovação de produto, fornecendo aos gerentes e equipes de design um roteiro para desenvolvimento estruturado que relaciona as necessidades do cliente com as especificações de engenharia e as variáveis do processo de produção (MORTADA, 2004).

O *QFD* é uma abordagem passo a passo, marcando os pontos em que os requisitos para os resultados são estabelecidos e as decisões de avançar ou não podem ser tomadas. Normalmente pode-se discernir quatro fases: estratégia e definição do conceito, design de produto, design de processo e operações de manufatura (MORTADA, 2004).

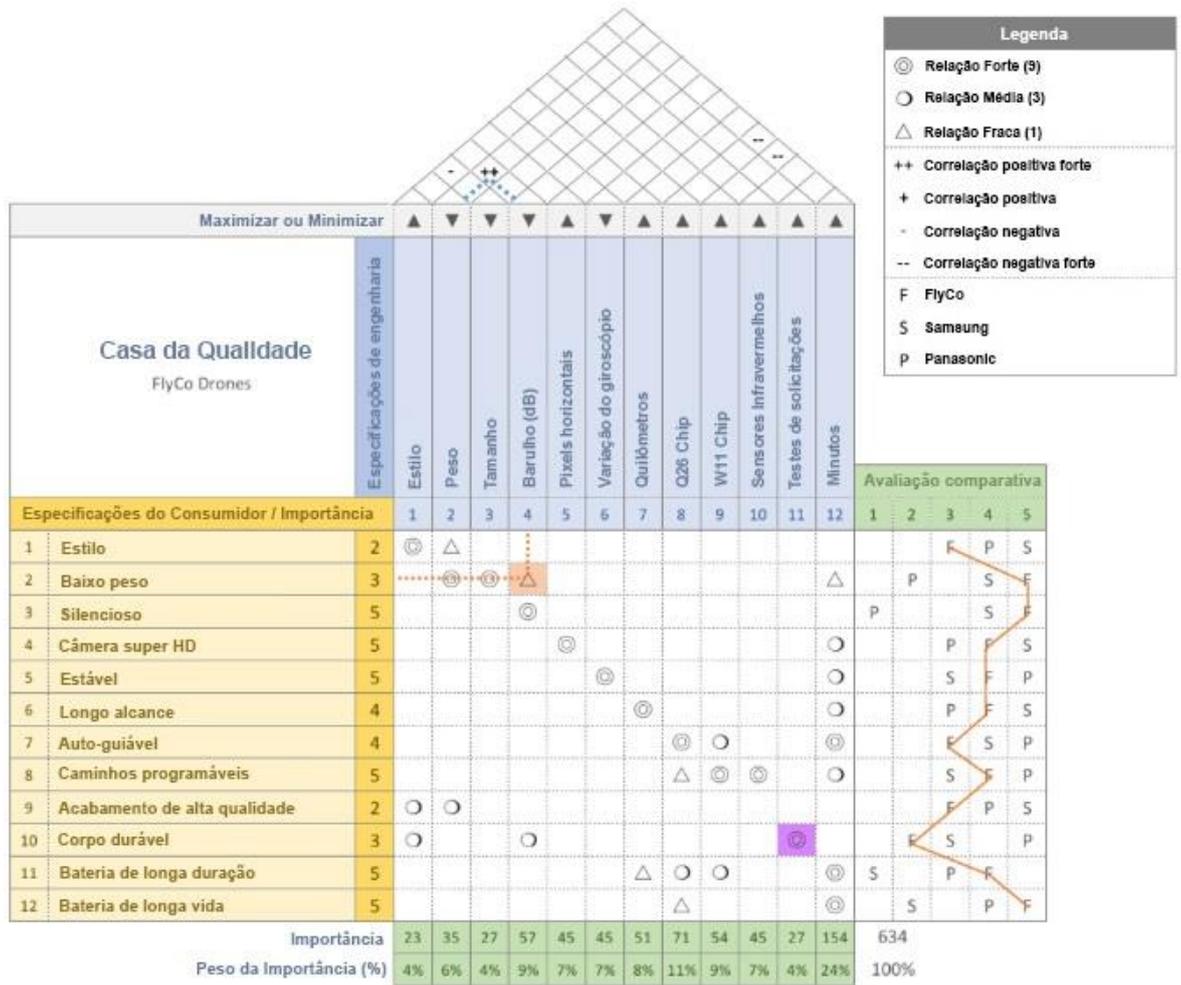
Na primeira fase, de estratégia e definição do conceito, são estabelecidos os requerimentos de projeto e os clientes alvos, ou seja, os dados de entrada, que definirão as características dos componentes do produto. Esta primeira fase é a mais crítica do processo, uma vez que nela é requerida que seja determinado o que o consumidor quer e não o que os desenvolvedores supõem que ele queira. Conforme MORTADA (2004),

Os objetivos do *QFD* serão atingidos quando a "voz do cliente" for implementada no nível mais detalhado das operações de manufatura. Isso significa aplicar em todas as fases, embora seja possível obter benefícios substanciais com a implementação do *QFD* apenas na primeira fase².

Como método de quantificar e relacionar os dados obtidos, utiliza-se uma matriz denominada Casa da Qualidade, conforme exemplificado na Figura 1 (GENTRY, 2020), através do levantamento de especificações para o projeto de um drone.

² Tradução do autor.

Figura 1 - Matriz Casa da Qualidade



Fonte: (GENTRY, 2020).

A seção Especificações do Consumidor, melhor visualizada na Figura 2, à esquerda da Casa da Qualidade, especifica as características de produto exigidas pelo consumidor. Os números à direita, nesta mesma seção, representam a importância destas características para o consumidor, em uma escala de 1 a 5.

Figura 2 – Matriz Casa da Qualidade, seção Especificações do Consumidor

Especificações do Consumidor / Importância		
1	Estilo	2
2	Baixo peso	3
3	Silencioso	5
4	Câmera super HD	5
5	Estável	5
6	Longo alcance	4
7	Auto-guiável	4
8	Caminhos programáveis	5
9	Acabamento de alta qualidade	2
10	Corpo durável	3
11	Bateria de longa duração	5
12	Bateria de longa vida	5

Fonte: (GENTRY, 2020).

A seção Especificações de Engenharia, Figura 3, mostra os métodos de engenharia necessários para medir e executar o desenvolvimento do produto.

Figura 3 – Matriz Casa da Qualidade, seção Especificações de Engenharia

Especificações de engenharia	Estilo	Peso	Tamanho	Barulho (dB)	Pixels horizontais	Varição do giroscópio	Quilómetros	Q26 Chip	W11 Chip	Sensores Infravermelhos	Testes de solicitações	Minutos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

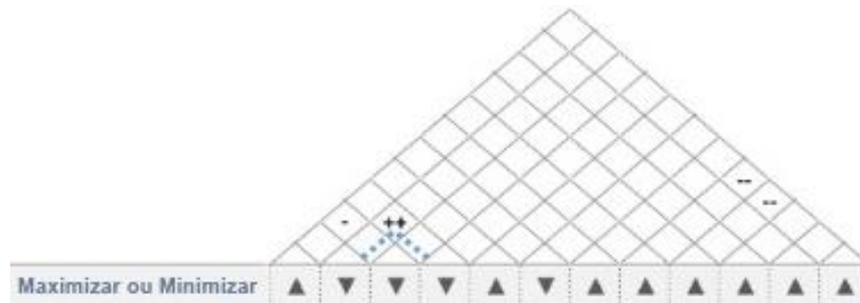
Fonte: (GENTRY, 2020).

O centro da matriz contém símbolos que representam o quão forte é a relação entre as especificações do consumidor e as especificações da engenharia. Estes símbolos são definidos por uma legenda, na qual uma relação forte tem um peso de 9, uma relação média tem o peso de 3 e uma relação fraca é 1.

O “telhado” da casa (Figura 4) demonstra os conflitos potenciais entre as especificações de engenharia. As setas logo abaixo indicam a direção (aumentar ou

diminuir) que o cliente deseja que cada especificação de engenharia siga. Por exemplo, o peso deve diminuir, enquanto a durabilidade deve aumentar.

Figura 4 - Matriz Casa da Qualidade, seção do “telhado”



Fonte: (GENTRY, 2020).

Os números de importância e os pesos de importância, visto na Figura 5, na base da Matriz da Casa da Qualidade são o levantamento geral após avaliar a importância classificada pelo cliente e as relações com as Especificações de Engenharia. Para obter esses números, é realizada a multiplicação do valor de importância de cada especificação do consumidor pelo peso do símbolo de relação de cada especificação de engenharia. Esses valores são somados e registrados na base inferior da matriz e um percentual da representação de cada um sobre o total é gerado.

Figura 5 - Matriz Casa da Qualidade, seções Importância e Pesos de Importância

Importância	23	35	27	57	45	45	51	71	54	45	27	154	634
Peso da Importância (%)	4%	6%	4%	9%	7%	7%	8%	11%	9%	7%	4%	24%	100%

Fonte: (GENTRY, 2020).

Por último, a seção Avaliação Comparativa, à direita, visto em detalhe na Figura 6, exibe uma linha de tendência indicando onde seu produto está no mercado em comparação com outros modelos de marca com especificações semelhantes. A eficácia de cada marca na execução de cada especificação é avaliada em uma escala de 1 (ruim) a 5 (excelente).

Figura 6 - Matriz Casa da Qualidade, seção Avaliação Comparativa

Avaliação comparativa					
1	2	3	4	5	
		F	P	S	
	P		S	F	
P			S	F	
		P	F	S	
		S	F	P	
		P	F	S	
		F	S	P	
		S	F	P	
		F	P	S	
	F	S		P	
S		P	F		
	S		P	F	

Fonte: (GENTRY, 2020).

2.3.2 Aplicação da Voz do Consumidor (VOC) para elaboração de requisitos de produto

A VOC – Voz do Consumidor (*Voice of the Customer*) é um termo usado para descrever o processo de captura dos requerimentos do consumidor, sendo uma técnica de desenvolvimento de produto que gera uma lista detalhada das características que o consumidor quer e precisa no produto. Esta lista é organizada em uma estrutura hierárquica que prioriza estas características em termos de importância relativa e satisfação (GASKIN, GRIFFIN, *et al.*, 2009).

O processo de utilização da Voz do Consumidor traz importantes benefícios para os desenvolvedores, uma vez que proporciona um entendimento detalhado dos requerimentos do cliente, uma linguagem comum para a equipe seguir em frente, dados de entrada para a definição de especificações de design adequadas para o novo produto ou serviço, e permite o surgimento de oportunidades para a inovação de produtos já existentes.

Os estudos da Voz do Consumidor consistem em pesquisas de mercado qualitativas e quantitativas. Estas pesquisas são conduzidas no início do desenvolvimento de um novo produto, processo ou serviço, com o objetivo de

entender melhor as necessidades do cliente e normalmente fornecem dados que podem ser utilizados na elaboração do *QFD* (visto no item 2.3.1). É importante que o grupo de desenvolvimento esteja bastante envolvido neste processo, definindo os tópicos e gerando as questões que serão usadas na condução das entrevistas. Somente assim os desenvolvedores poderão internalizar a *VOC* e realizar decisões efetivas para alterações no design do produto.

Gaskin (2009) explica que existem quatro aspectos da *VOC*, conforme será visto a seguir:

a) Necessidades do consumidor: A necessidade de um consumidor é a descrição dos benefícios que devem ser obtidos pelo produto ou serviço. A *VOC* tem suas origens do processo do *QFD*, onde é usada para desenvolver as necessidades do cliente que são ligadas às medidas de performance. Por isso a definição aqui utilizada é mais específica que o uso genérico da *VOC*, a qual pode se referir a qualquer forma de feedback do consumidor.

A distinção entre as dimensões físicas e as necessidades do consumidor se provaram ser uma das chaves para o sucesso das táticas de marketing, já que o modelo sugere que os clientes veem o mundo pelas suas percepções e necessidades. Conhecer as necessidades e preferências do cliente é fundamental para o desenvolvimento e marketing do produto. No entanto, as preferências são baseadas em como os clientes percebem o mundo. Essa percepção pode ou não ser totalmente precisa, sendo baseada nas características do produto e também na imagem criada pela publicidade, embalagem, contexto social, etc. O marketing é uma atividade integrada que tenta projetar o produto e influenciar as percepções do cliente. A Voz do Consumidor identifica as dimensões das necessidades do cliente e como os clientes formam preferências em relação a essas necessidades. A *VOC* também pode identificar como a publicidade afeta as percepções, a disponibilidade e o preço alvo de um produto (GASKIN, GRIFFIN, *et al.*, 2009).

b) Estrutura hierárquica: Não é possível trabalhar diretamente com as necessidades detalhadas de todos os consumidores entrevistados no decorrer do processo da *VOC*, sendo necessária uma estrutura mais simples. A *VOC* estrutura as necessidades do cliente em uma hierarquia de necessidades primárias, secundárias e terciárias. As necessidades primárias, também conhecidas como necessidades estratégicas, são de duas a dez necessidades de nível superior usadas para definir a direção estratégica do marketing. Cada necessidade primária é

dividida em três a dez necessidades secundárias (também conhecidas como necessidades táticas). As necessidades secundárias indicam o que deve ser feito para satisfazer a necessidade primária correspondente. As necessidades terciárias, também conhecidas como necessidades operacionais ou detalhadas, fornecem mais detalhes para que a engenharia e a agência de publicidade possam desenvolver um conjunto de características do produto ou texto publicitário que satisfaçam as necessidades primárias e secundárias (GASKIN, GRIFFIN, *et al.*, 2009).

c) Percepção de performance do consumidor: As percepções do cliente são derivadas de pesquisas de mercado quantitativas sobre como os clientes percebem o desempenho dos produtos que competem na área estudada. Se nenhum produto ainda existe, as percepções indicam como os clientes atendem a essas necessidades no cenário atual. As percepções do cliente são exibidas por meio de um *snake plot*, assim chamado porque o desempenho de cada produto "serpenteia" pela página, conforme visto na Figura 6 do *QFD*. Esses dados são obtidos por meio de um questionário no qual cada respondente avalia cada produto ou marca em cada uma das necessidades secundárias do cliente (GASKIN, GRIFFIN, *et al.*, 2009).

d) Prioridades: Algumas necessidades têm prioridades mais altas para os clientes do que outras. Essas prioridades são utilizadas para tomar decisões que equilibram o custo de atender uma necessidade do cliente com o desejo (para o cliente) de atender a essa necessidade. Na *VOC*, essas prioridades se aplicam às necessidades percebidas do cliente, e não aos recursos do produto ou soluções de engenharia (GASKIN, GRIFFIN, *et al.*, 2009).

2.4 Tecnologia assistiva: conceitos, legislação

Sendo o foco deste trabalho o desenvolvimento de um dispositivo de assistência, é válido definirmos aqui os conceitos pertinentes ao assunto. Neste tópico será abordado o conceito de Tecnologia Assistiva.

Tecnologia assistiva é um termo utilizado para se definir um conjunto de recursos e serviços que visam proporcionar a ampliação das habilidades funcionais de uma pessoa, permitindo que a mesma desenvolva uma vida independente e desta forma possa se sentir incluída socialmente ao desenvolver atividades por conta própria (BERSCH e SARTORETTO, 2020).

A OMS – Organização Mundial da Saúde possui a seguinte definição para Tecnologia Assistiva (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020):

A tecnologia assistiva promove a inclusão e a participação, especialmente de pessoas com deficiência, populações idosas e pessoas com doenças não transmissíveis. O objetivo principal dos produtos assistivos é manter ou melhorar o funcionamento e a independência de um indivíduo, promovendo assim o seu bem-estar. Eles permitem que as pessoas tenham uma vida saudável, produtiva, independente e digna e participem da educação, do mercado de trabalho e da vida cívica.³

O termo também pode ser definido como "uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências" (COOK, POLGAR e HUSSEY, 1995).

O termo Tecnologia Assistiva (do inglês *Assistive Technology*), cunhado pela primeira vez nos Estados Unidos em 1988, faz parte da legislação norte-americana *Public Law 100-407*, renovado em 1998 como *Assistive Technology Act* de 1998 (P.L. 105-394, S.2432). Juntamente com o *ADA - American with Disabilities Act*, tem como objetivo regular os direitos dos cidadãos com deficiência além de gerenciar os fundos públicos para financiar os recursos que estes necessitam (BERSCH e SARTORETTO, 2020).

No Brasil, a portaria número 142, de 16 de novembro de 2006, instituiu o CAT - Comitê de Ajudas Técnicas, e define o seguinte conceito:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Berch (2017) explica que a Tecnologia Assistiva pode ser dividida em recursos e serviços. Recursos seriam os dispositivos utilizados de forma a auxiliar na realização dos movimentos ou nos processos de aprendizado. Pode-se citar como exemplo, bengalas, cadeiras de rodas, brinquedos adaptados, computadores com softwares especiais, dispositivos para adequação postural e inúmeros outros itens padrão de mercados ou confeccionados especialmente para um determinado

³ Traduzido pelo autor.

indivíduo. Dispositivos para auxiliar o manuseio de lápis ou canetas são um exemplo de recursos simples que podem ser facilmente implementados (Figura 7).

Figura 7 - Exemplos de adaptação para lápis



Fonte: (VALENTINI e BISOL, 2017).

Serviços seriam aqueles prestados por profissionais de forma a desenvolver, definir, adquirir e treinar os usuários para o uso dos dispositivos de Tecnologia Assistiva, envolvendo várias áreas do conhecimento, como fisioterapia, fonoaudiologia, educação, psicologia, medicina, engenharia, arquitetura, entre outros.

Conforme Berch (2017), os recursos e serviços da Tecnologia Assistiva podem ser categorizados em onze tópicos distintos, sendo eles:

- a) Auxílios para vida diária: instrumentos que facilitem tarefas rotineiras como comer, tomar banho;
- b) Comunicação aumentativa e alternativa: técnicas e dispositivos utilizados para permitir a comunicação de pessoas sem fala ou com limitações da mesma;
- c) Recursos de acessibilidade ao computador: representa o conjunto de dispositivos e softwares que facilitam o uso de computadores por pessoas com limitações;
- d) Sistemas de controle de ambiente: sistemas que facilitam e permitem o uso de aparelhos eletroeletrônicos para pessoas com dificuldades de locomoção;
- e) Projetos arquitetônicos para acessibilidade: adaptações que permitam o acesso de pessoas com dificuldades de locomoção, tais como banheiros adaptados, rampas, elevadores, etc;
- f) Órteses e próteses: partes artificiais para substituição de membros faltantes ou de funcionamento comprometido, assim como outros auxiliares ortopédicos como apoios e talas;

g) Adequação postural: sistemas para cadeiras ou cadeiras que visem garantir uma postura adequada do usuário, maior estabilidade ou que proporcionem conforto e distribuição adequada do peso/pressão na superfície da pele;

h) Auxílios de mobilidade: andadores, cadeiras de rodas, bengalas e outros dispositivos que visem auxiliar na locomoção do usuário;

i) Auxílios para cegos ou com visão subnormal: telas com sistemas de aumento para leitura, lupas, Braille;

j) Auxílios para surdos ou com déficit auditivo: aparelhos para surdez, sistemas de alerta tátil-visual;

k) Adaptações em veículos: qualquer sistema que auxilie na condução e uso independente de veículos automotores por pessoas com limitações, tais como elevadores para cadeiras de rodas, pedais adaptados e entre outras modificações.

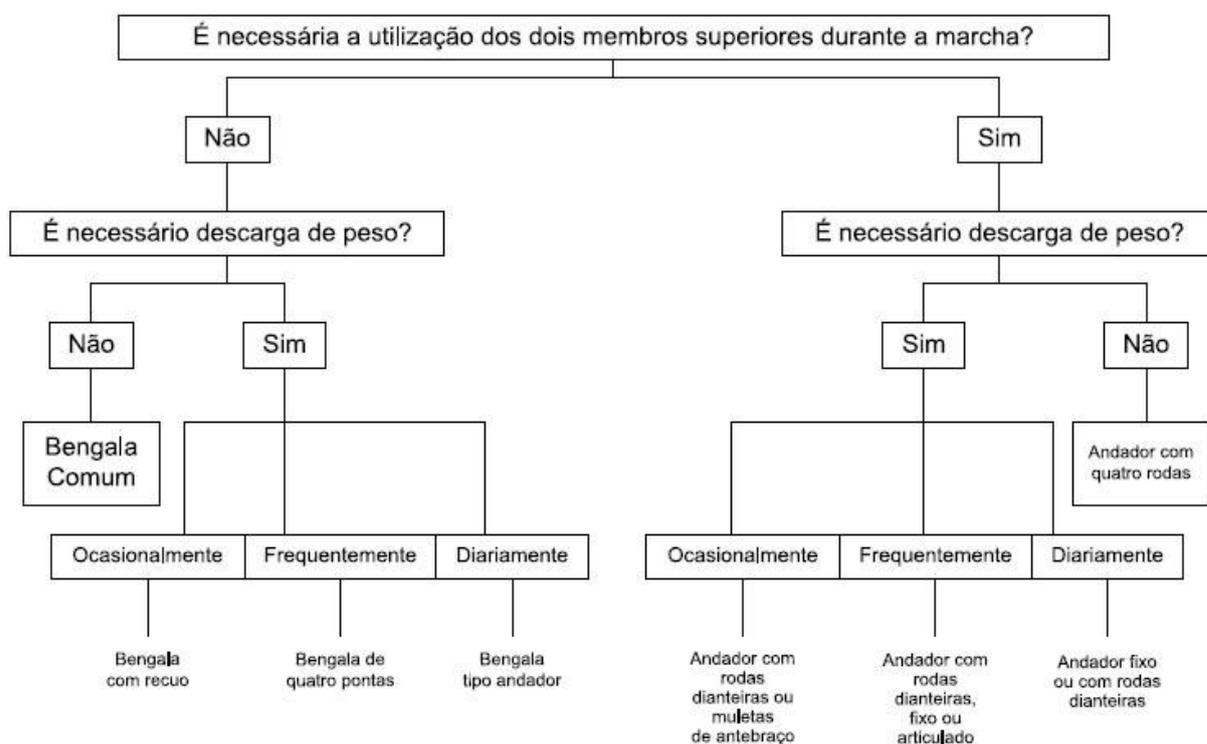
2.5 Tecnologias e equipamentos para apoio à caminhada

Um dispositivo de auxílio à caminhada, também denominado de DAM - Dispositivo de Auxílio de Marcha, tem como função fornecer independência e mobilidade ao mesmo tempo que proporcionam equilíbrio, maior confiança e segurança ao usuário. Estes dispositivos normalmente são utilizados por pessoas com problemas nos ossos ou articulações, principalmente relacionados à idade avançada. A utilização de apoios para caminhada tem também como objetivo reduzir a concentração de pressão nas articulações, melhor distribuindo as cargas e aliviando as solicitações sobre os membros inferiores, evitando-se assim o agravamento de lesões e dores decorrentes do ato de caminhar. Se utilizados corretamente, dispositivos de apoio podem ser benéficos tanto para articulações do quadril quanto joelhos e tornozelos prevenindo quedas e as lesões provenientes destas (HATEM, 2013).

Os efeitos de utilização destes dispositivos variam conforme a anatomia do usuário, podendo ter diferentes resultados de acordo com o peso e altura do mesmo e a forma de uso, como a força aplicada sobre uma bengala, por exemplo. A forma como os dispositivos são utilizados, se de forma incorreta, podem minimizar os benefícios ou até aumentar as cargas envolvidas tornando o dispositivo um mal cujo uso deve ser corrigido (HATEM, 2013).

É interessante observar que a maioria dos usuários de DAMs não possui instrução adequada do uso dos mesmos. É comum a utilização de tipos incorretos e com alturas não adequadas ao usuário, fazendo uso de equipamentos emprestados e/ou indicados por pessoas sem conhecimentos da aplicação dos mesmos (GLISOI, ANSAI, *et al.*, 2012). A indicação do equipamento adequado deve ser feita por um profissional de saúde devidamente habilitado para tal. Este profissional irá avaliar diversos fatores que incluem força muscular, equilíbrio, resistência física, dores existentes, entre outros. Esta avaliação resulta na prescrição de dispositivos para uso interno e externo, conforme método exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Seleção adequada dos dispositivos de marcha



Fonte: (GLISOI, ANSAI, *et al.*, 2012).

Os DAMs podem ser classificados em três tipos: muletas, andadores e bengalas (HATEM, 2013).

2.5.1 Muletas

Normalmente não utilizadas por pessoas idosas, por exigir maior forças dos membros superiores, as muletas são indicadas quando existe a necessidade de remover a carga sobre um ou sobre os dois membros inferiores. Também são

necessárias quando o usuário necessita de propulsão para a caminhada. São usualmente classificadas em dois modelos (Figura 8): axilares (são apoiadas nas axilas, sendo desconfortáveis para o usuário e utilizadas quando sua necessidade é temporária) e de antebraço (com fixação no antebraço).

Figura 8 – Tipos de muletas



Fonte: (HATEM, 2013).

2.5.2 Andadores

Os andadores são indicados para melhorar a estabilidade em pacientes com membros inferiores fracos, aumentando a base de apoio e suportando o peso do usuário. Apesar de proporcionar uma maior segurança, são pouco manobráveis e inadequados para subir escadas. Podem ser encontrados andadores de diversos modelos (Figura 9) como o andador tradicional (modelo mais estável, com quatro pontos de apoio antideslizantes e que deve ser levantado do chão completamente a cada passo), andadores com rodas frontais (possuem rodas nos dois pés frontais, o que o torna menos estável e são indicados para pacientes com dificuldades em levantar o andador do chão ou que possuem uma marcha mais rápida) e andadores

com quatro rodas (para pessoas com marcha mais rápida mas que não possuem problemas significativos com equilíbrio, uma vez que são os menos estáveis).

Figura 9 – Tipos de andadores



Fonte: (HATEM, 2013).

2.5.3 Bengalas

As bengalas têm como objetivo ajudar a distribuir o peso, aumentar a base de suporte e fornecer informações referentes às condições do piso ao usuário. Podem ser encontradas em modelos variados (Figura 10) como o modelo tradicional (reta, feita usualmente de madeira ou alumínio com ajuste de altura, com pegador e apoio de borracha antideslizante), modelo com dobra (para usuários que necessitam apoiar o peso do corpo sobre a bengala, também com pegador e pé antideslizante, feita de alumínio com ajuste de altura) e bengala com quatro apoios (possui três ou quatro pés antideslizantes de forma aumentar a área de apoio, feita de alumínio também com altura ajustável).

Figura 10 – Tipos de bengalas



Fonte: (HATEM, 2013).

Bengalas possuem diferentes tipos de empunhaduras (Figura 11), sendo as mais usuais a empunhadura anatômica (mais adaptável à palma da mão, preferencialmente utilizada por pessoas acometidas por artrite ou reumatismo), a empunhadura curva ou em gancho (modelo simples, normalmente utilizado por quem precisa utilizar as duas mãos frequentemente, uma vez que o modelo permite pendurar a bengala no braço), empunhadura do tipo *crutch* (modelo ergonômico confortável e estável pois se adapta à palma da mão, sustentando o peso do usuário diretamente acima da bengala) e a empunhadura do tipo *fischer* (modelo ortopédico, também adaptável à palma da mão e utilizado por pessoas acometidas por artrite ou reumatismo, permitindo a distribuição peso do usuário através da palma da mão).

Figura 11 - Diferentes tipos de empunhaduras para bengalas

Empunhadura anatômica



Empunhadura curva ou gancho

Empunhadura do tipo *crutch*

Fonte: (WALKING STICKS, 2017).

Conforme consulta online e pesquisa no acervo de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), não há normas específicas no Brasil para disposição técnica de bengalas e muletas.

2.6 Estado da arte: patentes e dispositivos disponíveis para a aplicação

De forma a verificar a viabilidade legal do projeto, entre os dias 26 de setembro e 4 de outubro de 2020, foi realizada a verificação da existência de patentes nacionais, através de consulta online na base de dados do INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial, e internacionais, através da base de dados online do *Google Patents*.

2.6.1 Patentes nacionais

Através da busca pelos termos “bengala” e “muleta” no banco de dados do INPI, foram obtidos 78 resultados, conforme Tabela 2 e Tabela 3 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

Tabela 2 - Patentes relacionadas aos termos “bengala” e “muleta” no banco de dados do INPI

Pedido	Depósito	Título	IPC
BR 10 2018 073078 9	09/11/2018	BENGALA ELETRÔNICA COM TECNOLOGIA RFID PARA DEFICIENTES VISUAIS	A61H 3/06
BR 10 2018 013876 6	05/07/2018	ARMADURA TUBULAR ARTICULADA E REGULÁVEL, COM EXTREMIDADES CURVADAS, CONEXÕES FLEXÍVEIS, PLACAS RÍGIDAS EM ALMOFADAS, OUTRAS PEÇAS RÍGIDAS PARA ÁREAS EXTENSAS, MULETA AUTÔNOMA E MODELO PARA BICICLETA SUSTENTADO NA VERTICAL POR SUPORTE FLEXÍVEL	A41D 13/00
BR 11 2020 000297 6	01/02/2018	MULETA DEFORMÁVEL	A45B 5/00
BR 10 2018 000949 4	17/01/2018	ROSA DE BENGALA E ALFA-CICLODEXTRINA: FORMAÇÃO DE UM COMPLEXO DE INCLUSÃO COM POTENCIAL ANTIMICROBIANO	A61K 47/40
BR 10 2017 022840 1	23/10/2017	ARMADURA TUBULAR ARTICULADA E REGULÁVEL, COM CONEXÕES FLEXÍVEIS, CAPACETE TUBULAR COM PROTEÇÃO PARA PEITO E ABDOME, MULETA AUTÔNOMA E MODELO PARA BICICLETAS SUSTENTADO NA VERTICAL POR SUPORTE FLEXÍVEL	B62K 11/00
BR 10 2017 022733 2	22/10/2017	ARMADURA TUBULAR ARTICULADA E REGULÁVEL, COM CONEXÕES FLEXÍVEIS, CAPACETE TUBULAR COM PROTEÇÃO PARA PEITO E ABDOME, MULETA AUTÔNOMA E MODELO PARA BICICLETAS SUSTENTADO NA VERTICAL POR SUPORTE FLEXÍVEL	B60R 21/02
BR 10 2017 008452 3	25/04/2017	BENGALA PARA DEFICIENTES VISUAIS COM RECONHECIMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS OU OBJETOS	A45B 3/00
BR 10 2016 018141 0	04/08/2016	BENGALA CUSTOMIZÁVEL PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	A45B 9/00
BR 20 2016 007553 5	05/04/2016	BENGALA INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL PARA AUXILIAR A LOCOMOÇÃO E INCLUSÃO DE DEFICIENTES VISUAIS E MOTORES E IDOSOS?	A45B 3/00
BR 20 2014 022127 7	29/07/2014	BENGALA INTELIGENTE PARA AUXÍLIO À LOCOMOÇÃO DE DEFICIENTES VISUAIS	A45B 3/00
BR 10 2014 013520 0	04/06/2014	BENGALA ROTATIVA MAGNÉTICA PARA DEFICIENTE VISUAL	A61H 3/06
BR 11 2015 017038 2	13/01/2014	DISPOSITIVO DE MARCHA COM UMA MULETA	A61H 3/00
BR 20 2013 027754 7	29/10/2013	DISPOSIÇÃO INTRODUZIDA EM BENGALA COM EQUIPAMENTO ULTRASSÔNICO PARA AUXILIAR NA LOCOMOÇÃO DE DEFICIENTES VISUAIS	A45B 3/00
BR 20 2013 009534 1	19/04/2013	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA EM BENGALA PARA PORTADORES DE DEFICIÊNCIA VISUAL OU COM VISÃO SUBNORMAL	A45B 3/12
BR 10 2013 004370 2	25/02/2013	BENGALA ROBÓTICA	G05B 15/00
BR 10 2012 020647 1	17/08/2012	BENGALA PARA DEFICIENTE VISUAL COM SISTEMA ELETRÔNICO PARA AVISO DE PRESENÇA DE OBSTÁCULOS FRONTAIS	A61H 3/06
BR 10 2012 015797 7	26/06/2012	BENGALA, MULETAS E ANDADORES EM ALUMÍNIO ANODIZADO	A45B 1/00
BR 20 2012 011154 9	11/05/2012	DISPOSIÇÃO APLICADA EM MULETA COM APOIO MEMBRO INFERIOR	A61H 3/02
BR 10 2012 009681 1	25/04/2012	SISTEMA BENGALA COM ROLAMENTO INTEGRADO PARA ENCOSTO SUPERIOR PARA SERRAFITA DE AÇOUGUE	B26D 7/26
MU 9101559-6	21/07/2011	DISPOSIÇÃO APLICADA EM BENGALA	A45B 21/00
MU 8902118-5	17/08/2009	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA EM BENGALA PARA DEFICIENTES VISUAIS	A45B 3/00
PI 0901353-9	09/04/2009	DISCO-SUPORTE COM BOCAL E GUIAS, PARA SISTEMAS DE CRAVAMENTO DO TUBO SUPORTE DA BENGALA DO LNB E MONTAGEM DE HASTES DE PARÁBOLA	H01Q 1/12
PI 0901352-0	09/04/2009	BANDEJA COM ADAPTADOR, PARA SISTEMA DE POSICIONAMENTO GRADUAL E FIXAÇÃO DE LNB SECUNDÁRIO, EM BENGALA DE ANTENA PARABÓLICA	H01Q 19/10
MU 8900426-4	03/03/2009	BENGALA RETRÁTIL COM VELCRO PARA PRENDER NA PERNA E APOIO PARA A BASE DO PÉ	A45B 3/12
PI 0901133-1	03/03/2009	SISTEMA DE APOIO APLICADO EM BENGALA	A45B 7/00
MU 8900103-6	07/01/2009	MULETA PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, PRINCIPALMENTE CÃES E GATOS	A61H 3/02
MU 8702067-0	05/11/2007	BENGALA MULTIUSO	A45B 1/04
PI 0706079-3	03/08/2007	SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE DISCO/SUPORTE EM PEÇA ÚNICA, PARA FIXAÇÃO DA BENGALA E GUIA PARA MONTAGEM DAS HASTES DE ANTENA PARABÓLICA	H01Q 1/22
PI 0701710-3	15/05/2007	DISPOSITIVO DE BATERIA DE SUSPENSÃO PARA BENGALA DE SUSPENSÃO DE VEÍCULO	B60G 15/02
MU 8700418-6	14/03/2007	DISPOSIÇÃO APLICADA EM MULETA	A61H 3/02

Fonte: INPI – pesquisa de patentes com os termos “bengala” e “muleta”

Tabela 3 - Patentes relacionadas aos termos “bengala” e “muleta” no banco de dados do INPI (continuação)

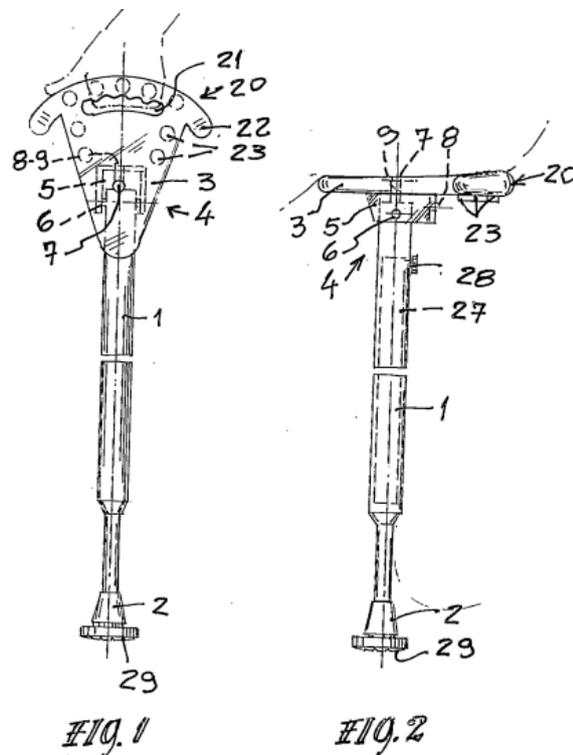
MU 8601142-1	12/06/2006	APERFEIÇOAMENTO INTRODUIDO EM BENGALA / CAJADO	A45B 3/00
MU 8601042-5	21/03/2006	BENGALA ELETRÔNICA	A45B 3/00
PI 0600110-6	13/01/2006	SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE SUPORTE PARA A BENGALA DE ANTENA PARABÓLICA E PRODUTO OBTIDO	H01Q 1/24
MU 8502392-2	08/08/2005	SUPORTE PARA DESCANSO DA PERNA ACOPLADO EM UMA MULETA	A61H 3/02
MU 8302958-3	01/08/2003	MULETA BUSS	A61H 3/02
PI 0302635-3	25/06/2003	BENGALA PARA CEGOS	A45B 7/00
MU 8301108-0	20/05/2003	DISPOSIÇÃO INTRODUIDA EM BENGALA	A45B 1/02
MU 8202158-9	09/09/2002	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA APLICADA EM MULETA	A61H 3/02
MU 7901099-7	15/06/1999	DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA INTRODUIDA EM BENGALA	A45B 1/00
MU 7901288-4	15/06/1999	DISPOSIÇÃO EM MULETA TUBULAR	A61H 3/02
MU 7900105-0	26/01/1999	SUPORTE BENGALA PARA FIXAÇÃO DE REDE ELETRICA	H02G 3/03
PI 9805493-7	25/11/1998	BENGALA ELETRÔNICA INTELIGENTE	A45B 3/04
MU 7800029-7	02/01/1998	"MULETA ORTOPÉDICA COM AMORTECIMENTO"	A61H 3/02
MU 7703014-1	24/09/1997	"BENGALA ARTICULADA COM ROLETE PARA DEFICIENTE VISUAL"	A45B 1/02
MU 7700375-6	18/04/1997	DISPOSIÇÃO DE BENGALA	A45B 5/00
PI 9605689-4	22/11/1996	BENGALA EQUIPADA COM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE SINALIZAÇÃO SONORA E VISUAL	A45B 3/00
PI 9600321-9	26/01/1996	BENGALA MOTORIZADA PARA A PRÁTICA DE ROLER (PATINS)	B62K 1/00
PI 9503803-5	14/08/1995	SAPATO E BENGALA FLUTUANTE	A43B 5/00
PI 9401622-4	27/04/1994	BENGALA-BANCO	A45B 3/00
PI 9400643-1	23/02/1994	MULETA CANADENSE MODULAR DESMONTÁVEIS	A61H 3/02
MU 7302626-3	30/12/1993	MODULAÇÃO PARA MULETA AXILAR	A61H 3/02
MU 7301230-0	30/07/1993	DISPOSIÇÃO INTRODUIDA EM MULETA AXILAR	A61H 3/02
PI 9306257-5	02/04/1993	DISPOSITIVO DE ARTICULAÇÃO E SUSPENSÃO SOB A FORMA DE UMA BENGALA DE SUSPENSÃO E PROCESSO DE ENCADEAR E PENDURAR PRODUTOS ALIMENTÍCIOS QUE COMPEENDEM UM INVÓLUCRO TUBULAR COM UM ENCHIMENTO DE ALIMENTO	A22C 11/10
PI 9300307-2	01/02/1993	BENGALA MODULAR MULTI-FUNCIONAL	A45B 7/00
MU 7300161-9	01/02/1993	DISPOSIÇÃO SIMPLIFICADA INTRODUIDA EM BENGALA PARA DEFICIENTES FÍSICOS	A46B 7/00
MU 7200572-6	14/04/1992	BENGALA MULTIUSO	A45B 5/00
MU 7200312-0	25/02/1992	BENGALA DE ALUMÍNIO DE ALTURA REGULÁVEL	A45B 1/04
MU 7002289-5	29/10/1990	MULETA REGULÁVEL	A61H 3/02
MU 7001103-6	19/06/1990	DISPOSIÇÃO PROPORCIONADA A BENGALA	F16M 13/08
MI 5000310-0	02/03/1990	CONFIGURAÇÃO PROPORCIONADA A CABO DE BENGALA	09/07/2025
MI 5000182-5	30/01/1990	BENGALA CANADENSE	09/07/2025
MU 6901993-2	28/09/1989	DISPOSIÇÃO INTRODUIDA EM BENGALA PARA CEGO	A45B 9/02
PI 8904108-9	10/08/1989	SAPATA ARTICULADA PARA BENGALA	A45B 1/00
PI 8705464-7	13/10/1987	BENGALA PALPEBRAL	G02C 5/00
PI 8705673-9	25/09/1987	BENGALA PARA A PESSOA IDOSA COM ASSENTO DE DESCANSO	A45B 5/00
PI 8705130-3	04/09/1987	FERRADURA E MULETA PARA REDUÇÃO DE FRATURAS NOS MEMBROS LOCOMOTORES DOS EQUINOS	A01K 13/00
MU 6602348-3	17/11/1986	MULETA MONOTUBULAR	A61H 3/02
MU 6401977-2	29/11/1984	HIPOMETRO BENGALA METRICA PARA MEDIR CAVALOS	G01B 3/08
PI 8403765-2	27/07/1984	MULETA AXILAR ARTICULADA	A61H 3/02
PI 8506858-6	18/07/1984	MULETA, BENGALA E SIMILAR COM COMPRIMENTO CONTINUAMENTE VARIÁVEL	A61H 3/02
PI 8303758-6	13/07/1983	BENGALA INSTRUMENTADA DINAMOMETRICA	-
MU 6201008-5	29/07/1982	BENGALA DE SEGURANÇA PARA VEÍCULOS.	B60R 25/02
MI 4000757-0	16/09/1980	EMBALAGEM CONFIGURATIVA DE UMA BENGALA	-
PI 7907017-5	26/10/1979	BENGALA PARA MEDIR CAVALOS	-
MU 5800725-3	12/06/1978	CONJUNTO GUARDA-SOL, BANQUETA BENGALA	-
MU 5800726-1	12/06/1978	BANQUETA-BENGALA	-
PI 7800063-7	05/01/1978	MULETA APERFEIÇOADA DE ALTURA REGULÁVEL	-
PI 7702139-8	04/04/1977	BANQUETA-BENGALA	-

Fonte: INPI – pesquisa de patentes com os termos “bengala” e “muleta”

Sendo o objetivo deste trabalho o desenvolvimento de uma bengala com assento embutido, serão analisadas a seguir as patentes nacionais que apresentam uma maior relação de similaridade com o projeto proposto.

A patente intitulada *Disposição de bengala*, número de publicação MU 7700375-6 U, do inventor Milton Sandini, abrange uma bengala de altura regulável a qual possui um pegador de mão que se desdobra em um assento. O esboço do projeto pode ser visto na Figura 12.

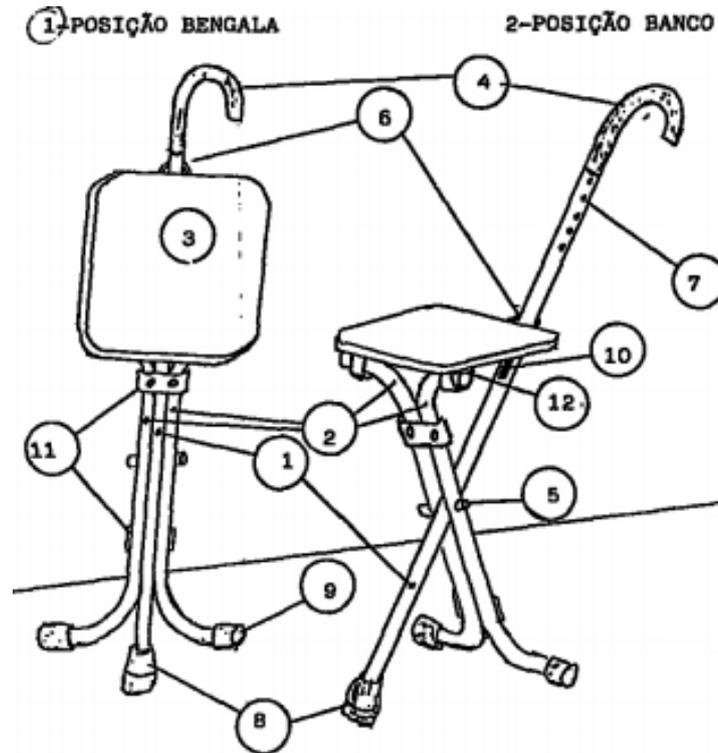
Figura 12 – Bengala com pegador/banco registrada na patente MU 7700375-6 U



Fonte: INPI – patente MU7700375-6U.

A patente intitulada *Bengala-banco*, número de publicação PI 9401622-4 A, do inventor Jacob Leo Israel Moczioldower, dispõe de uma bengala que pode ser desdobrada em um banco apoiado em três pés, conforme Figura 13.

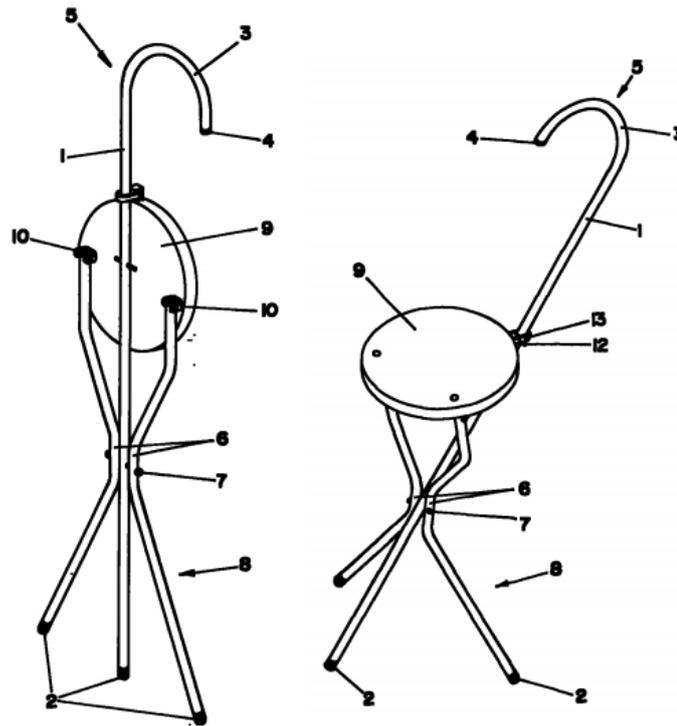
Figura 13 – Bengala com assento dobrável registrada na patente PI 9401622-4 A



Fonte: INPI – patente PI 9401622-4 A.

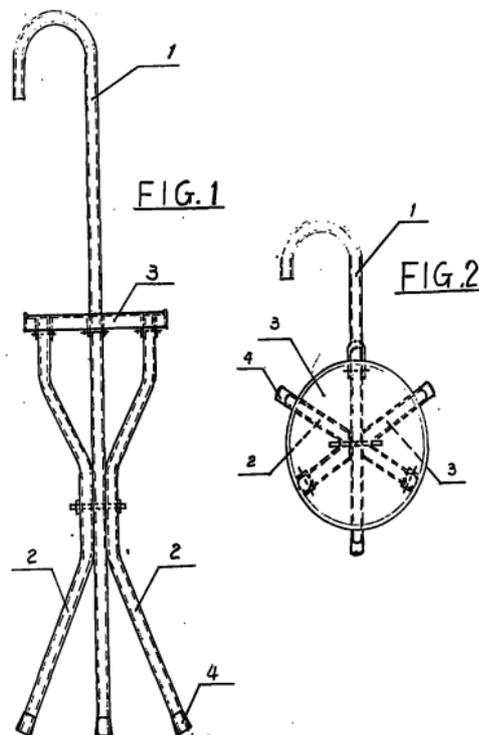
As patentes *Bengala multiuso* (Figura 14), número de publicação MU 7200572-6 U, inventor Jenner Camargo, e *Bengala para pessoa idosa com assento de descanso* (Figura 15), número PI 8705673-9 A, do inventor So Sing Ming, também apresentam configurações similares à patente descrita anteriormente.

Figura 14 - Bengala com assento dobrável registrada na patente MU 7200572-6 U



Fonte: INPI – patente MU 7200572-6 U.

Figura 15 - Bengala com assento dobrável registrada na patente PI 8705673-9 A



Fonte: INPI – patente PI 8705673-9 A.

2.6.2 Patentes internacionais

A busca de patentes internacionais foi realizada utilizando-se um termo mais delimitador: *walking stick with seat* (bengala com assento). Este termo é mais relacionado ao produto que este trabalho objetiva desenvolver e apresentou como resultado da busca mais de 135.000 tópicos, conforme Figura 16.

Figura 16 – Pesquisa pelo termo *walking stick with seat* no Google Patents

The screenshot shows the Google Patents search interface. The search bar contains the text "walking stick with seat". Below the search bar, there are filters for "SEARCH TERMS" (including "walking stick seat" and "+ Synonym") and "SEARCH FIELDS" (including "Date · Priority", "Inventor", "Assignee", "Patent Office", "Language", "Status", "Type", and "Litigation"). The search results are displayed on the right side, showing three patent entries for "Walking stick chair".

SEARCH TERMS × About 135,387 results Download with Concepts Result list

Sort by · Relevance ▼ Group by · None ▼ Deduplicate by · Family ▼ Results / page · 10 ▼

walking stick seat × or + Synonym

+ Synonym

SEARCH FIELDS

Date · Priority ▼
YYYY-MM-DD - YYYY-MM-DD

+ Inventor

+ Assignee

Patent Office ▼ Language ▼

Status ▼ Type ▼

Litigation ▼

Walking stick chair
EP US JP TW · EP2692263B1 · Chih-Ting PAO · Pao, Chih-Ting
Priority 2012-08-01 · Filed 2013-07-30 · Granted 2016-09-14 · Published 2016-09-14
The **walking stick chair** as claimed in claim 1, further characterized in that : said seat unit (2, 200', 2000, 200", 200) further includes a linkage set (23, 23', 230, 230", 2300", 80, 203) that is disposed between and connected to said seat member (22, 220, 220', 2200, 220", 2200", 81, 202) and said ...

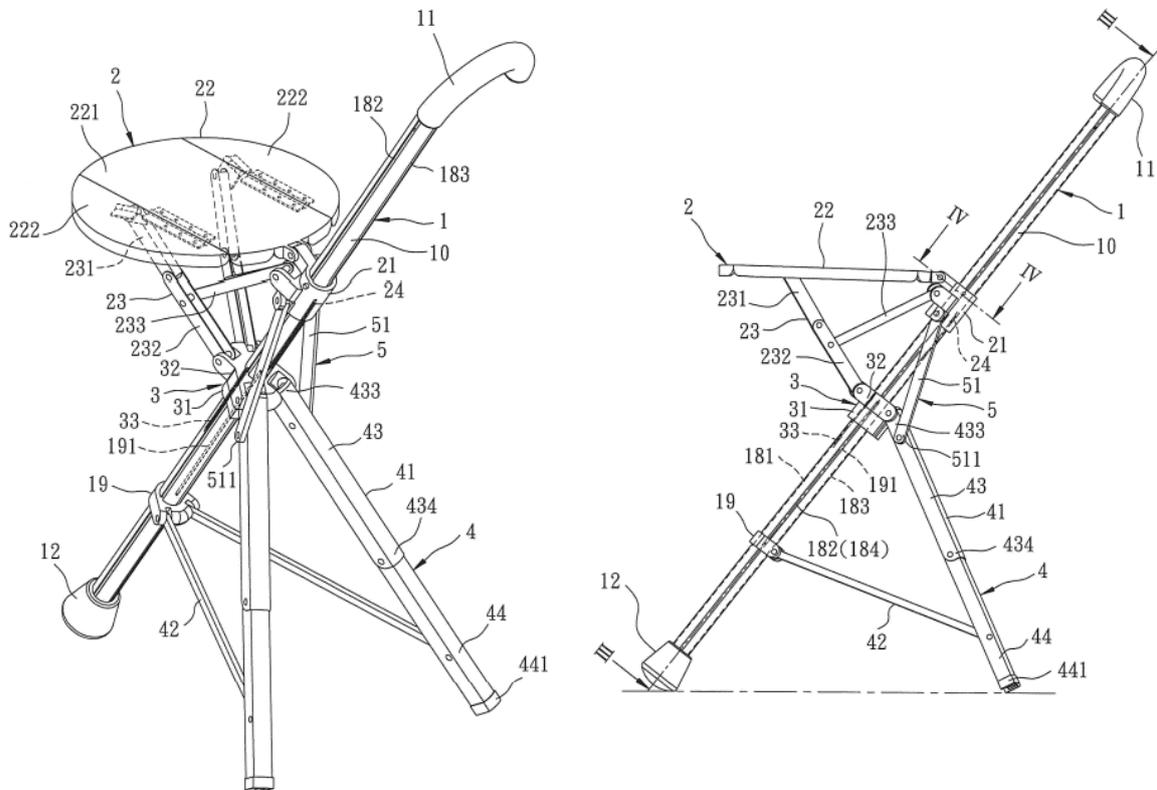
Walking stick chair
US · US9414655B2 · Chih-Ting Pao · Step2Gold Co., Ltd.
Priority 2012-08-01 · Filed 2013-08-08 · Granted 2016-08-16 · Published 2016-08-16
9. The **walking stick chair** as claimed in claim 8 , wherein said linkage set is connected pivotally to said middle slider member, said pivoted end portion of said support unit being connected pivotally to said middle slider member. 10. The **walking stick chair** as claimed in claim 2 , wherein said seat ...

Walking stick chair
US TW · US8997766B2 · Chih-Ting Pao · Chih-Ting Pao
Priority 2012-08-29 · Filed 2013-03-14 · Granted 2015-04-07 · Published 2015-04-07
A **walking stick chair** includes a main stick, a seat unit, a support unit, and a linking unit. The seat unit includes a sleeve member connected in a fixed position to the main stick, and a seat member connected pivotally to the sleeve member and operable between a folded state and an unfolded state.

Fonte: Google Patents.

Entre os resultados encontrados, um produto se destaca em duas patentes similares (versão europeia número de identificação EP2692263B1 e versão norte-americana número US008997766B2), ambas do mesmo inventor denominado Chih-Ting Pao. Este modelo, conforme pode ser visto na Figura 17, consiste em uma bengala na qual pela parte de fora da mesma desliza um mecanismo com uma mecânica de funcionamento similar à abertura de um guarda-chuva, onde, com apenas um movimento, é possível distender dois pés de apoio (sendo o terceiro pé a própria bengala, inclinada) e um banco dobrável.

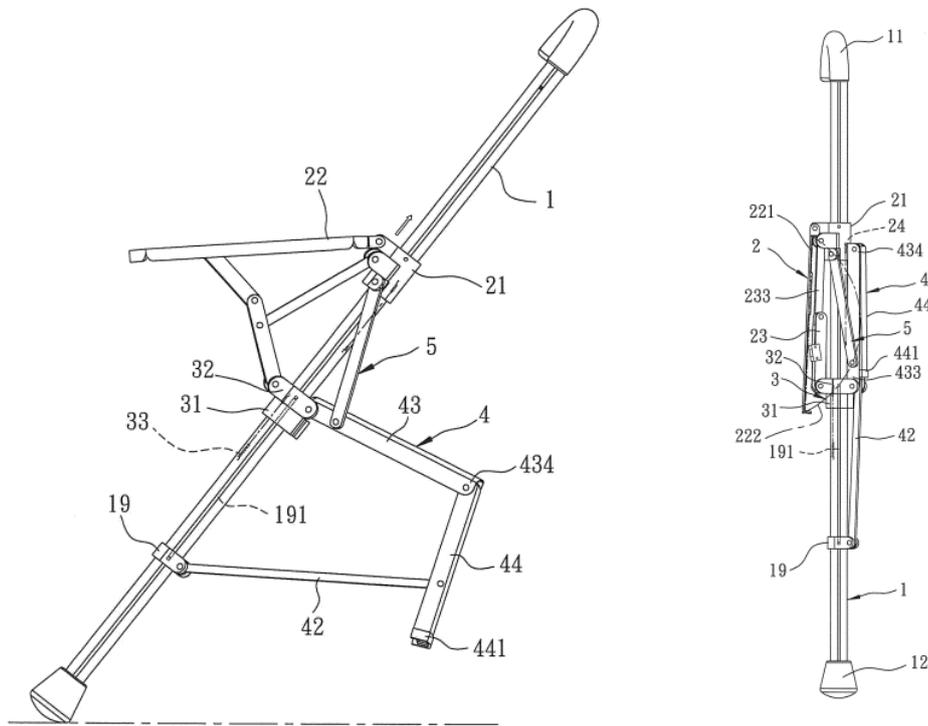
Figura 17 - Bengala com assento dobrável patente europeia EP2692263B1, assento distendido



Fonte: European Patent Specification (Searching for patents, 2020) – patente EP2692263B1.

O projeto destaca-se pelo fato de ser bastante compacto quando o assento está fechado, recolhendo os pés de apoio e envolvendo-os pelo banco que se dobra em três partes, conforme Figura 18.

Figura 18 - Bengala com assento dobrável patente europeia EP2692263B1, assento recolhido



Fonte: European Patent Specification (Searching for patents, 2020) – patente EP2692263B1.

2.6.3 Dispositivos sem patente registrada

Apresentando um design bastante inovador, quando comparado com os conceitos apresentadas anteriormente, o projeto (Figura 19) desenvolvido por Jordan Lau Tsz Chun, no Instituto de Design de Hong Kong, apresenta uma bengala onde o assento é a própria empunhadura, que ao ser empurrado para baixo, se desdobra em um banco de três pernas. O projeto foi vencedor do prêmio RedDot Awards de 2019 (REDDOT, 2019).

Figura 19 - Projeto desenvolvido por Jordan Lau Tsz Chun, Instituto de Design de Hong Kong

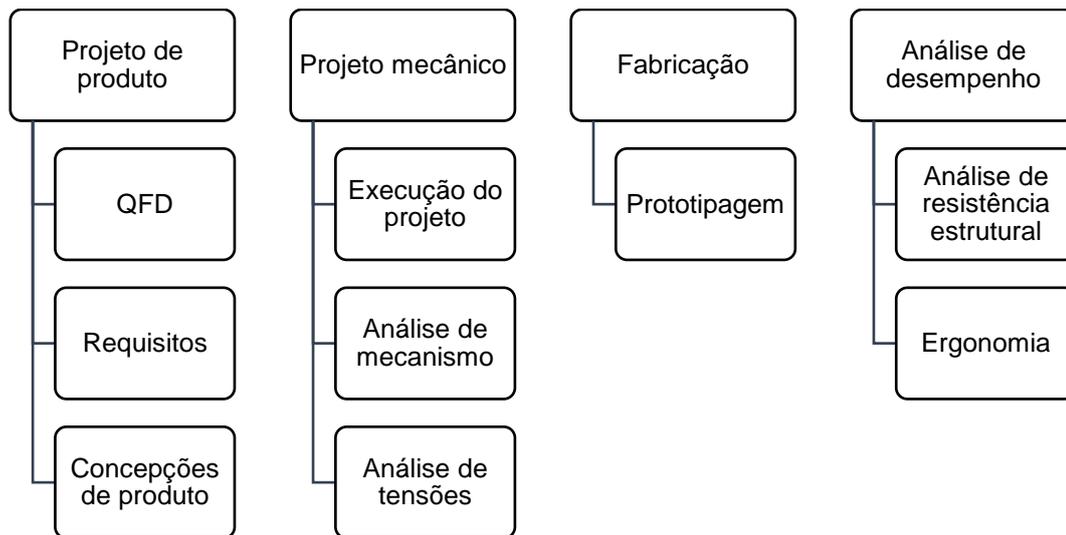


Fonte: (REDDOT, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi elaborado utilizando-se da seguinte metodologia, conforme pode ser visto no fluxograma a seguir (Figura 20).

Figura 20 – Fluxograma da metodologia aplicada no trabalho



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Projeto do produto

3.1.1 QFD

De forma a quantificar as variáveis e os requerimentos percebidos pelo consumidor e assim ter dados de entrada confiáveis para elaboração do projeto, foi elaborado um modelo *QFD* com uma matriz do tipo Casa da Qualidade, similar ao modelo especificado no item 2.3.1. Sendo assim, foi criado um questionário simples (Figura 21) elaborado através da ferramenta disponibilizada pelo Google, denominada *Google Forms*. Este questionário aborda questões como a idade do respondente e se o usuário utilizaria uma bengala com assento embutido. O questionário apresenta também um conjunto de características (que serão utilizadas posteriormente como especificações do consumidor) do produto proposto e uma classificação de 1 a 5, conforme o grau de importância percebido pelo consumidor para cada uma das características apontadas (sendo 1 menos importante e 5 mais importante).

As características levantadas para classificação do grau de importância são:

1. Produto compacto, ocupando pouco espaço quando o assento está fechado;
2. Baixo peso;
3. Ajuste de altura;
4. Apoio de mão confortável;
5. Assento confortável;
6. Facilidade para abertura e fechamento do assento;
7. Material resistente e durável;
8. Acabamento de alta qualidade;
9. Baixo custo de aquisição;
10. Pés antiderrapantes;
11. Alça de segurança;
12. Disponibilidade de cores variadas;
13. Design moderno e discreto;
14. Bolsa de transporte;
15. Abertura rápida do assento.

Figura 21 – Exemplo de como as perguntas foram dispostas no questionário

Abaixo são descritas funcionalidades e características para uma bengala com assento embutido. Classifique com uma nota de 1 a 5, conforme o grau de importância que você considera para cada uma dessas características.

Produto compacto - uma bengala que ocupa pouco espaço seria importante para você?

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Baixo peso - a bengala ser leve seria importante para você?

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Fonte: elaborado pelo autor.

Este questionário foi aplicado em pessoas selecionadas através da rede social *Facebook*, na qual foram pesquisados indivíduos participantes de grupos voltados a terceira idade. Desta forma, foram escolhidos 20 participantes (sendo dez homens e dez mulheres), aos quais foi encaminhado o link com o formulário a ser respondido, junto com uma breve apresentação e justificativa para o contato.

Para as especificações de engenharia, os seguintes atributos foram levados em consideração: peso, tamanho, materiais especiais, materiais resistentes e custo de fabricação.

A Figura 22 apresenta a Casa da Qualidade elaborada conforme os dados mencionados. Após o levantamento das médias das notas atribuídas às especificações do consumidor, foi realizada a análise cruzando estas notas com as especificações de engenharia, de forma a se calcular os valores percentuais do peso de importância. Da mesma forma, após os dados serem obtidos, as correlações entre as especificações de engenharia também foram dispostas na Casa da Qualidade, completando assim a matriz.

Figura 22 – Casa da Qualidade do projeto bengala com assento embutido

		Maximizar ou minimizar						
Casa da Qualidade Projeto Bengala com Assento Embutido		Especificações de engenharia	Peso	Tamanho	Materiais especiais	Materiais resistentes	Mecanismo complexo	Custo de fabricação
			1	2	3	4	5	6
Especificações do consumidor / Notas de Importância								
1	Produto compacto							
2	Baixo peso							
3	Ajuste de altura							
4	Apoio de mão confortável							
5	Assento confortável							
6	Facilidade para abertura e fechamento do assento							
7	Material resistente e durável							
8	Acabamento de alta qualidade							
9	Baixo custo							
10	Pés antiderrapantes							
11	Alça de segurança							
12	Disponibilidade de cores variadas							
13	Design moderno e discreto							
14	Bolsa de transporte							
15	Abertura rápida do assento							
Importância								
Peso da Importância (%)								

Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.2 Requisitos

Para os requisitos de projeto, foram considerados produtos existentes no mercado atual, uma vez que não existem normas no Brasil especificando características técnicas para bengalas simples.

Sendo assim, através da pesquisa de produtos, foram definidas especificações de projeto tais quais como comprimento médio, peso máximo e materiais mais adequados à função.

3.1.3 Concepções de produto

A concepção do produto levou em consideração as informações obtidas conforme resultados da pesquisa de voz do consumidor e preenchimento do diagrama da Casa da Qualidade. Com base nestes dados, as características mais relevantes para o consumidor foram incorporadas no produto durante o decorrer do projeto.

A concepção inicial do produto, ou seja, o modelo conceitual, foi desenvolvido com o auxílio do software de modelagem 3D *Solidworks*. Conforme o andamento do projeto e modelamento dos componentes, através do software CAD, foi possível realizar as iterações necessárias para a correta geometrização dos elementos e posterior análise das solicitações.

Também através do software *Solidworks*, foi realizado o detalhamento individual dos componentes, onde foram consideradas todas as informações necessárias para a fabricação dos mesmos.

3.2 Projeto mecânico

3.2.1 Análise de mecanismo

O projeto do mecanismo foi avaliado através do estudo cinemático do conjunto, nas ações de abertura e fechamento do assento. Esta verificação tem como prioridade a análise das possíveis interferências mecânicas entre os componentes, visando eliminar toda e qualquer possibilidade de colisão entre as peças.

Através desta análise foi possível também verificar a geometria e dimensões das peças modeladas, de forma a ajustar os movimentos para sua condição ideal.

Estas avaliações foram realizadas através de simulações de movimento, utilizando a montagem do modelo conceito no software *Solidworks* e das ferramentas de detecção de colisão/interferência fornecidas pelo próprio programa.

3.2.2 Análise de tensões

As tensões no projeto foram analisadas através de cálculos que levam em consideração os pontos de aplicação das forças inerentes à utilização do produto. Considerando a área sobre a qual a força é aplicada, pode-se definir a tensão de sollicitação do material como força por unidade de área, normalmente mensurada em MPa ou N/mm², e então comparar esta tensão com o valor nominal de tensão de escoamento do material a ser utilizado (NORTON, 2013).

A Equação 1 demonstra o cálculo que será utilizado para determinar as tensões geradas por forças normais ao plano analisado ou cisalhantes.

$$\begin{aligned}\sigma_{tração} &= \frac{F}{A_{\phi}} \\ \tau_{cisalhamento} &= \frac{F}{A_{\phi}}\end{aligned}\quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\sigma_{tração}$: tensão decorrente de forças normais ao plano tal como tração e compressão [MPa];

$\tau_{cisalhamento}$: tensão decorrente de forças de cisalhamento [MPa];

F: força aplicada sobre a área considerada para o cálculo [N];

A_{ϕ} : área da seção redonda, conforme Equação 2 [mm²].

$$A_{\phi} = \pi r^2 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

r: raio da seção redonda [mm].

Também foram analisadas as tensões resultantes dos momentos gerados no sistema. Estes momentos são decorrentes das forças aplicadas à uma determinada distância do ponto de fixação do elemento analisado. A Equação 3 demonstra o cálculo em elementos de seção redonda.

$$\sigma_{flexão_eixo} = \frac{M_{fletor}}{I_{eixo}} \times \left(\frac{\phi_{eixo}}{2} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\sigma_{flexão_eixo}$: tensão decorrente das forças de flexão em um elemento de seção redonda [MPa];

M_{fletor} : momento fletor gerado a partir de uma força aplicada à uma determinada distância do ponto de fixação deste elemento, conforme Equação 4 [Nmm];

ϕ_{eixo} : diâmetro da seção redonda analisada [mm];

I_{eixo} : momento de inércia à flexão do eixo, conforme Equação 5 [mm⁴].

$$M_f = F \times L \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

L: distância entre a aplicação da força e o ponto de fixação do elemento.

$$I_{eixo} = \frac{\pi \times (\phi_{eixo})^4}{64} \quad \text{Equação 5}$$

A Equação 6 demonstra o cálculo do momento fletor em um elemento de seção retangular.

$$\sigma_{flexão_retangular} = \frac{M_f}{I_{retangular}} \times \left(\frac{h}{2} \right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\sigma_{flexão_retangular}$: tensão decorrente das forças de flexão em um elemento de seção retangular [MPa];

$I_{retangular}$: momento de inércia à flexão de um elemento de seção retangular, conforme Equação 7 [mm⁴].

$$I_{retangular} = \frac{b \times h^3}{12} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

b: largura da seção retangular [mm];

h: altura da seção retangular [mm].

Tensões de cisalhamento decorrentes de momentos torsores também foram analisadas, conforme a Equação 22, que é aplicável para eixos ou tubos, considerando o momento de inércia adequado.

$$\tau_{\text{cisalhamento}} = \frac{T \times \left(\frac{\phi_{\text{externo}}}{2} \right)}{J_{\text{eixo/tubo}}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$\zeta_{\text{cisalhamento}}$: tensão de cisalhamento de corrente de torque aplicados sobre o eixo [MPa];

T: torque aplicado sobre o eixo analisado [Nmm];

ϕ_{externo} : diâmetro externo do eixo ou tubo analisado [mm];

$J_{\text{eixo/tubo}}$: momento de inércia do eixo (Equação 9) ou tubo (Equação 10) [mm⁴].

$$J_{\text{eixo}} = \frac{\pi \times (\phi_{\text{externo}})^4}{32} \quad \text{Equação 9}$$

$$J_{\text{tubo}} = \frac{\pi \times [(\phi_{\text{externo}})^4 - (\phi_{\text{interno}})^4]}{32} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

ϕ_{interno} : diâmetro interno do tubo analisado [mm].

Para execução e organização dos cálculos de tensão foi utilizado o software *SMath Studio*.

Através do software *SolidWorks*, mediante o módulo *Simulation*, também foram conduzidos testes estáticos via FEA – Análise de Elementos Finitos (*Finite Element Analysis*), tendo como objetivo determinar a localização dos pontos de concentração de tensão e de maior deformação.

3.3 Técnicas de fabricação aplicadas

As técnicas de fabricação utilizadas foram centradas em processos de rápida execução, visando assim agilizar o processo de prototipagem do projeto proposto.

Os processos utilizados foram o corte laser para chapas de aço e torneamento para peças de aço ou alumínio fornecidas em barras. Para o mecanismo protótipo, foi necessário também o fresamento de alguns componentes específicos, objetivando geometrias mais complexas.

Para peças em aço, de forma a evitar a oxidação dos componentes, foram adotados processos de tratamento superficial como, por exemplo, a zincagem (zinco ferro preto).

3.4 Análise de desempenho do produto

A análise de desempenho contempla o protótipo já construído, sendo de suma importância para aprovação do projeto e confirmação da viabilidade da ideia proposta. Conforme os resultados destas análises, possíveis melhorias de projeto são contempladas para posterior implementação no produto final.

3.4.1 Análise de desempenho e resistência estrutural

Os testes de desempenho que foram executados são:

- a) Teste de abertura do assento: teste prático visando verificar qual o nível de dificuldade na manipulação da bengala para realizar o procedimento de abertura do assento;
- b) Teste de resistência estático do assento: teste prático para verificação da resistência do assento quando o mesmo é submetido à uma carga fixa/constante. Este teste utiliza uma carga de 100 kgf, condizente com os valores calculados nas análises de tensão, aplicada diretamente sobre o centro geométrico do assento. A aplicação da carga é realizada por dez vezes, sendo que, na última vez, a mesma permanece sobre o assento por 30 minutos. Este teste utiliza como base o procedimento adotado pelo Inmetro – (Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade e Tecnologia), para cadeiras de uso não residenciais e de uso externo, porém com variações

com relação à carga adotada e a velocidade de aplicação da carga, que neste caso não será controlada (INMETRO, 2007). Após, é observada a existência de deformações permanentes e executado o fechamento do assento, para observar se as folgas atribuídas são suficientes para a operação do mecanismo.

3.4.2 Ergonomia

Devido à falta de material técnico e normas referentes a bengalas no Brasil, os testes de ergonomia para a bengala se basearão em testes práticos, tendo em mãos o protótipo fabricado. Estes testes serão direcionados tanto para a avaliação da bengala, cumprindo sua função de auxílio à caminhada, quanto para a praticidade e conforto do assento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

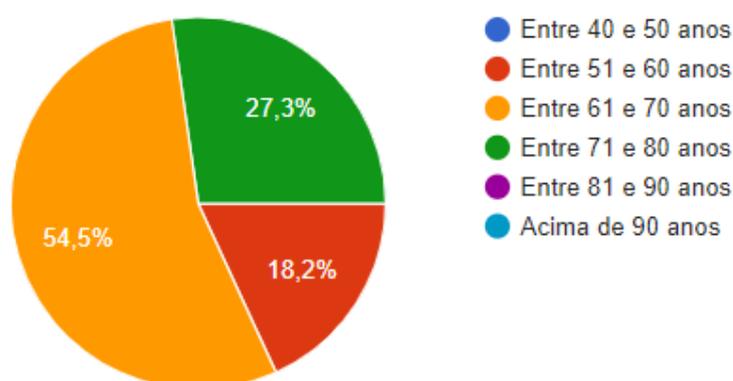
Este capítulo do trabalho apresenta os retornos obtidos do QFD, as configurações propostas para desenvolvimento, a concepção e o projeto do conceito eleito para fabricação, a prototipagem do produto e os resultados dos testes de desempenho.

4.1 Resultados do QFD

O questionário foi encaminhado a 20 participantes, porém, sendo a participação facultativa, foram obtidas respostas de apenas 11 entrevistados. As respostas ao questionário foram recolhidas no decorrer do mês março de 2021.

O Gráfico 1 demonstra a variação de idade dos respondentes, conforme informação fornecida por cada participante no questionário de levantamento de dados do QFD (item 3.1.1, Figura 21). Esta informação é relevante pois ajuda a visualizar o perfil do público que está sendo entrevistado. Como pode ser visto no gráfico, dos 11 respondentes, dois possuem idades variando entre 51 e 60 anos, seis entre 61 e 70 anos, e três entre 71 e 80 anos.

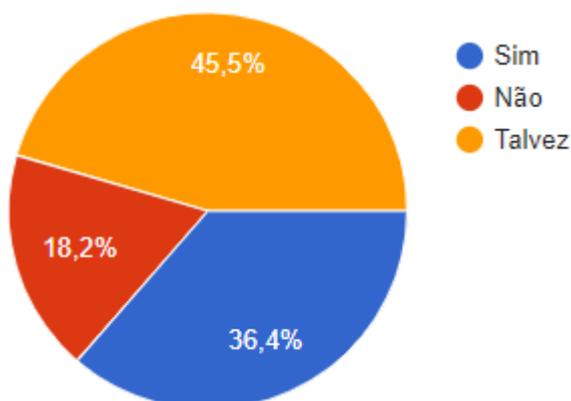
Gráfico 1 – Variação de idade dos respondentes ao questionário QFD



Fonte: Google Forms, 2021.

O Gráfico 2 ilustra os resultados quando os respondentes foram questionados se utilizariam uma bengala com assento dobrável. Conforme o gráfico tem-se que dos 11 participantes, quatro responderam que “sim”, cinco informaram que “talvez”, e dois informaram que não utilizariam o produto.

Gráfico 2 – Intenção de uso do produto



Fonte: Google Forms, 2021.

A Tabela 4 demonstra os resultados obtidos, ou seja, as notas referentes ao grau de importância percebida pelos 11 consumidores para cada uma das especificações, conforme explicado no item 3.1.1. Na coluna mais à direita da tabela, tem-se computada as médias das notas.

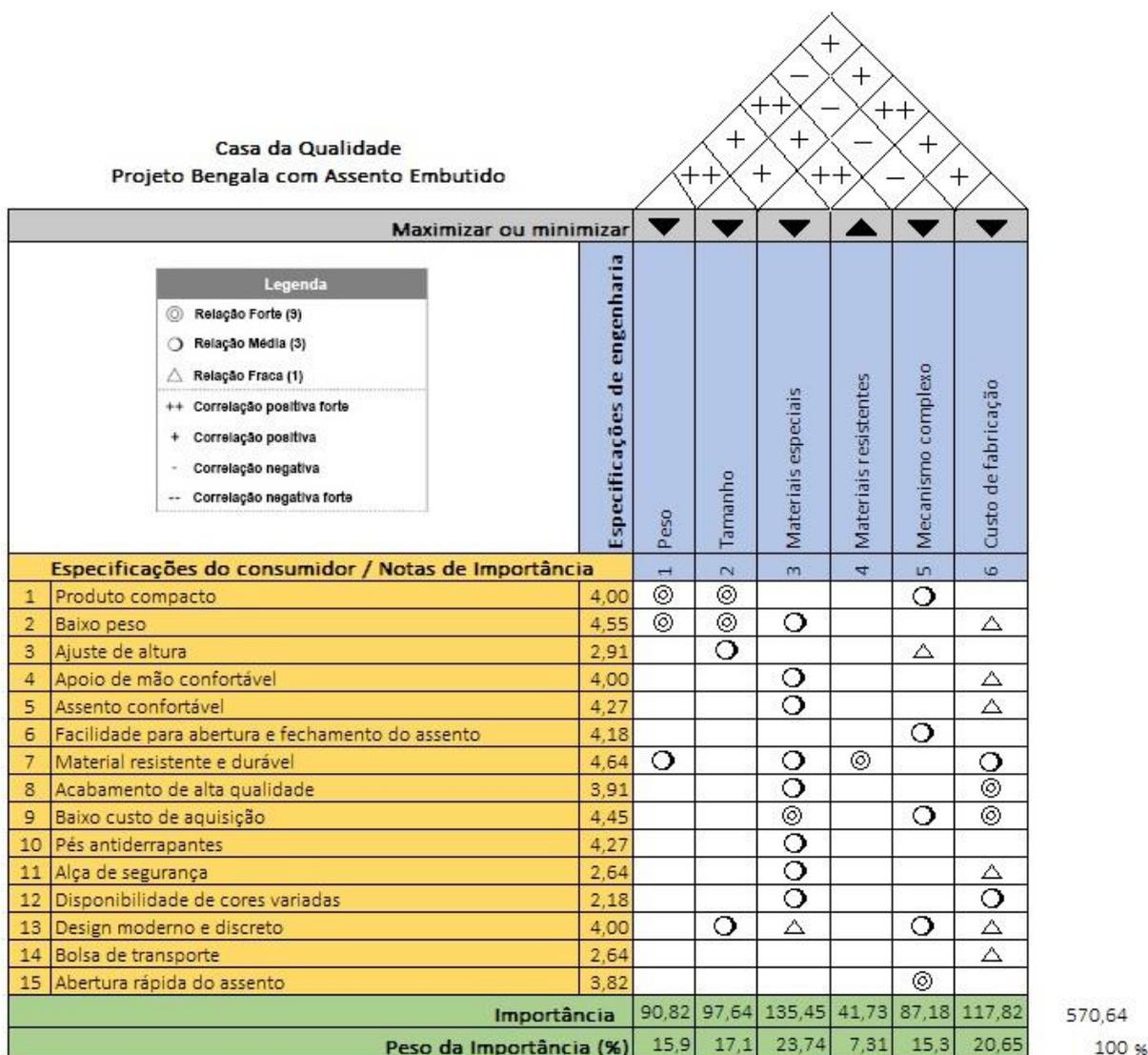
Tabela 4 – Classificação das especificações conforme nota dos consumidores

Especificações dos consumidores / Consumidores	Consumidor 1	Consumidor 2	Consumidor 3	Consumidor 4	Consumidor 5	Consumidor 6	Consumidor 7	Consumidor 8	Consumidor 9	Consumidor 10	Consumidor 11	Média das classificações
Produto compacto	5	4	5	5	3	3	5	3	3	5	3	4,00
Baixo peso	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	4	4,55
Ajuste de altura	5	3	2	3	4	2	1	3	2	5	2	2,91
Apoio de mão confortável	5	4	4	5	3	5	5	4	3	4	2	4,00
Assento confortável	4	4	4	5	4	5	4	3	5	4	5	4,27
Facilidade para abertura e fechamento do assento	5	5	5	4	4	5	3	4	2	5	4	4,18
Material resistente e durável	5	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	4,64
Acabamento de alta qualidade	4	4	4	3	4	5	3	3	5	4	4	3,91
Baixo custo	4	5	5	5	5	4	4	5	4	3	5	4,45
Pés antiderrapantes	5	4	3	5	3	5	5	5	4	3	5	4,27
Alça de segurança	4	1	3	2	3	5	2	3	1	2	3	2,64
Disponibilidade de cores variadas	3	1	2	1	2	4	1	2	1	3	4	2,18
Design moderno e discreto	4	3	4	5	4	4	3	3	5	4	5	4,00
Bolsa de transporte	3	1	3	2	1	2	3	4	2	3	5	2,64
Tempo de abertura do assento	4	4	4	5	3	3	5	4	3	2	5	3,82

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 23 ilustra a Casa da Qualidade, similar a qual foi vista na Figura 22, porém desta vez com as médias das notas das especificações do consumidor preenchidas conforme a Tabela 4 e com o cruzamento destes dados com as especificações de engenharia.

Figura 23 – Casa da Qualidade preenchida com dados coletados e análise



Fonte: elaborado pelo autor.

Através do método descrito no item 2.3.1, e utilizando a legenda vista na Figura 23, o centro da Casa da Qualidade foi preenchida com o símbolo do grau de correlação entre as especificações do consumidor e de engenharia. Após a multiplicação das notas de importância pelo valor do símbolo, estas foram somadas e um respectivo valor percentual foi gerado na linha Peso da Importância.

A matriz Casa da Qualidade preenchida permite ao projetista visualizar as características do produto que devem ser melhor trabalhadas para atender as expectativas do consumidor, assim como possibilita também a visualização das especificações de engenharia a serem focadas para atender estas expectativas. As notas de importância permitem verificar que características como produto compacto,

baixo peso, conforto, facilidade de abertura e fechamento do assento, resistência e durabilidade, baixo custo de aquisição e pés antiderrapantes são de grande importância para o usuário. Enquanto outros pontos como ajuste de altura, alça de segurança, disponibilidade de cores, bolsa para transporte e abertura rápida do assento não são vistos como algo indispensável ao produto. Já os pesos de importância demonstram que os pontos que devem ser melhor trabalhados são a utilização de materiais especiais, o tamanho e o baixo custo de fabricação.

4.2 Conceitos iniciais

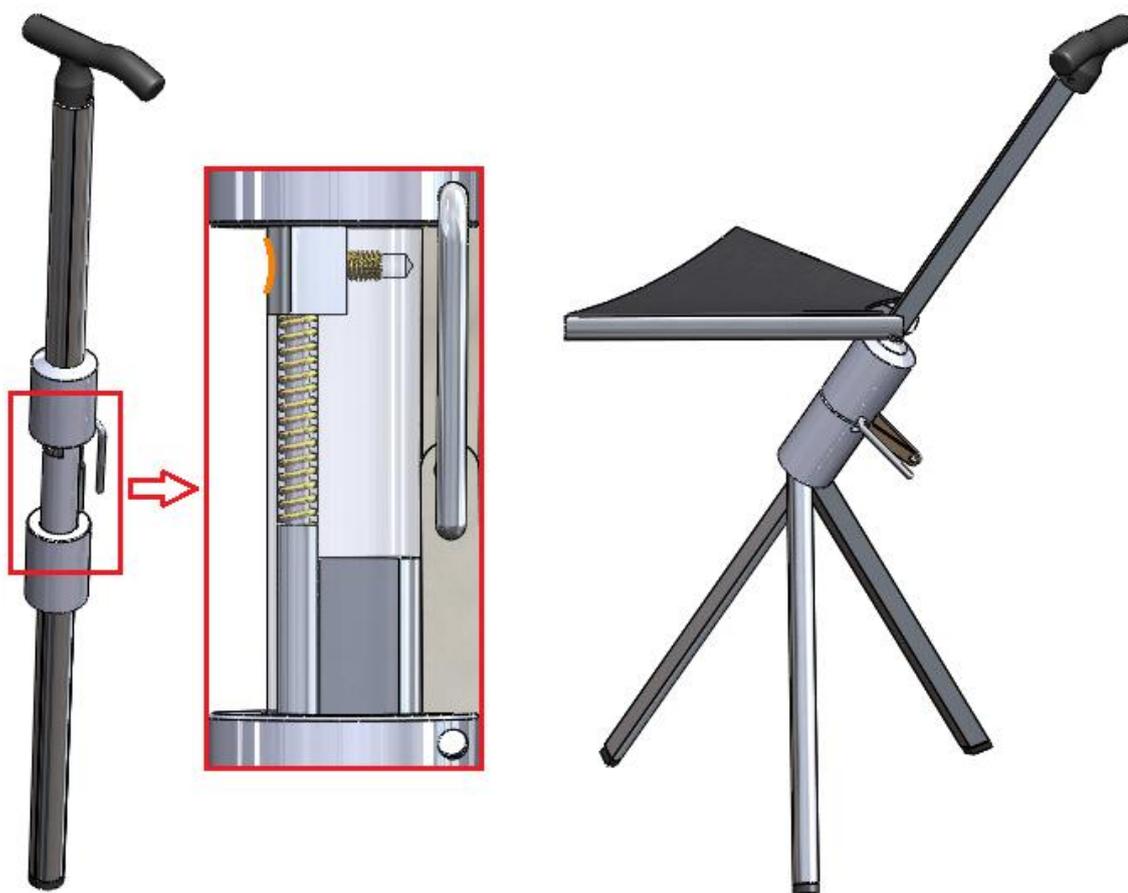
Os conceitos/configurações apresentados aqui, foram desenvolvidos pelo autor deste trabalho e não levam ainda em consideração os dados obtidos através do *QFD*, e sim os requisitos funcionais básicos do produto, sendo estes: possuir as funções inerentes a uma bengala simples, com empunhadura e pé para apoio com o chão, fixos em uma estrutura de geometria esbelta, além de agregar a funcionalidade de poder ser transformado em um assento de uso comum.

4.2.1 Configuração número 1

Esta configuração (Figura 24) representa uma bengala formada por perfis de uma barra redonda de diâmetro 31,75 mm (1.1/4”) dividida em três partes e que se desdobram nas pernas e nos suportes do assento. Possui um design interessante e compacto, com abertura independente das pernas, que são impulsionadas no sentido de abertura através de uma mola. O sistema possui uma trava central e uma pequena alavanca para destravamento. O assento é confeccionado em tecido e o manípulo é em polímero.

Esta configuração é inspirada no produto descrito na patente europeia EP2692263B1, apresentada no item 2.6.2.

Figura 24 – Imagem representativa da configuração nº 1



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.2 Configuração número 2

Esta configuração (Figura 25) apresenta uma bengala formada por um tubo de diâmetro 31,75 mm, dividido em seis partes que são pivotadas nas suas extremidades. A parte de cima dos tubos superiores é fixa na bengala, próxima ao assento. A parte de baixo dos tubos superiores é fixa na parte de cima dos tubos inferiores. Por sua vez, a parte de baixo dos tubos inferiores é fixa na bengala próximo ao ponto de contato com o chão. Todos os pontos de fixação são pivotantes, e deslizam em uma estrutura central, de forma que quando a empunhadura se abre (desdobrando-se no assento), os tubos se deslocam, assumindo a posição de suportes e pés do assento.

Esta configuração foi inspirada no conceito descrito no item 2.6.3.

Figura 25 - Imagem representativa da configuração nº 2



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.3 Configuração número 3

Esta configuração (Figura 26) abrange um conceito de três pernas que, quando abertas, realizam a sustentação do assento de tecido. É um conceito bastante simples e eficaz, observado em alguns bancos de construção mais simples. As pernas podem pivotar em torno dos pontos de fixação, recolhendo o assento de tecido e mantendo uma geometria bastante compacta para a bengala.

Figura 26 - Imagem representativa da configuração nº 3



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.4 Configuração número 4

A configuração a seguir (Figura 27) é semelhante à descrita no item 4.2.1, porém apresenta uma barra redonda maciça sobre a qual os suportes do assento e os pés se dobram. Como os suportes são conectados com os pés, a abertura do assento é realizada em um movimento único, através do mecanismo que conecta os dois movimentos.

Este conceito também é inspirado na patente europeia EP2692263B1, apresentada no item 2.6.2.

Figura 27 - Imagem representativa da configuração nº 4



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Cruzamento dos dados QFD com os conceitos propostos

Levando em consideração as características mais desejadas pelo consumidor, levantadas na pesquisa QFD (compacto, leve, confortável, fácil de abrir e fechar, resistente, baixo custo e pés antiderrapantes), é possível determinar qual das configurações propostas melhor se aplica ao produto desejado.

A configuração 1 (item 4.2.1) apresenta um mecanismo de abertura que exige uma barra de alumínio de diâmetro 31,75 mm, com um mecanismo complexo de abertura e travamento, o que torna o produto menos compacto quando comparado com as demais configurações. As pernas e os braços que suportam o assento precisariam ser fresados (ou extrudados já com o perfil correto) de forma a ter um

encaixe perfeito quando fechadas, encarecendo a produção dos componentes. O mecanismo complexo de abertura por mola e travamento também aumentaria a complexidade do projeto, o peso e o custo do produto.

A configuração 2 (item 4.2.2) apresenta um design bastante complexo, envolvendo múltiplos componentes para sincronização do mecanismo de abertura. O corte dos tubos que formam os apoios do assento precisaria ser preciso, de forma a harmonizar o movimento e manter um design compacto quando o assento está fechado. O alto número de componentes impactaria no peso, e a complexidade de fabricação das peças e montagem do conjunto aumentaria o custo do produto final.

A configuração 3 (item 4.2.3) possui um design simples, onde as barras que formam os pés também desempenham o papel de sustentação do assento de tecido. Apresenta uma quantidade reduzida de componentes e os mesmos são de baixa complexidade de fabricação quando comparada com as demais configurações, sendo o modelo mais compacto e de menor peso.

A configuração 4 (item 4.2.4) contempla problemas similares a configuração 1. Possui pés e braços que suportam o assento de forma independente, interconectados por um mecanismo sincronizador. Quando fechado este mecanismo não permite que a bengala assuma uma geometria compacta e discreta. O excesso de componentes e a complexidade do mecanismo sincronizador exige peças com tolerâncias apertadas, encarecendo a confecção das mesmas. O excesso de componentes também dificulta a montagem e aumenta o peso do produto.

Considerando estes levantamentos em relação aos conceitos propostos, a configuração número 3 possui os melhores atributos para o prosseguimento do projeto. O conceito prevê um design compacto quando com o assento fechado, de fácil operação na abertura e no fechamento, e com uma estrutura resistente, onde o peso exercido no assento é diretamente direcionado para os pés. Também apresenta poucos componentes, sendo estes de baixa complexidade, o que reduz o peso e o custo de fabricação. O conceito prevê pés antiderrapantes e assento de tecido, proporcionando segurança e conforto ao usuário.

4.4 Desenvolvimento e projeto

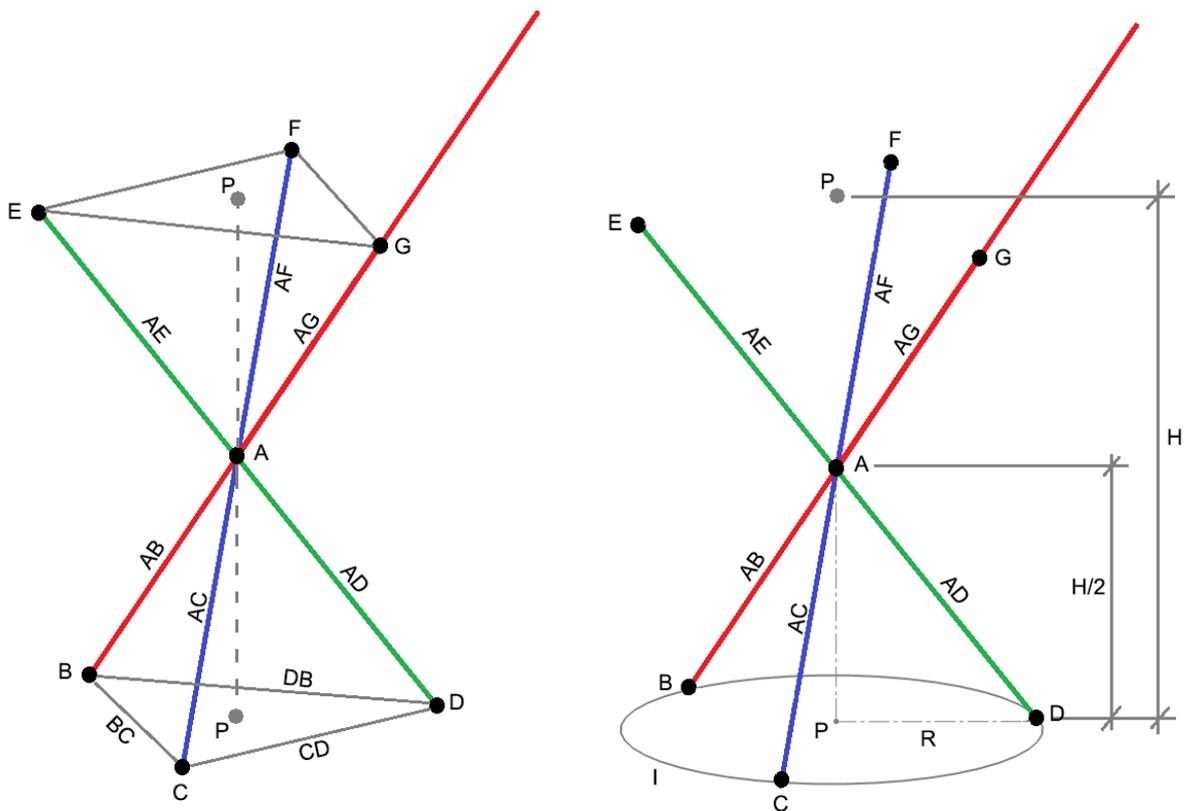
Uma vez definido o conceito inicial que será utilizado para andamento do desenvolvimento, inicia-se aqui a definição da geometria e dimensional, o projeto

mecânico de dimensionamento dos componentes e o estudo dos movimentos inerentes ao produto. Os resultados aqui obtidos têm como objetivo refletir os requisitos do cliente e as especificações de engenharia com as maiores notas obtidas no QFD.

4.4.1 Determinação das dimensões

De forma a estimar as dimensões iniciais do produto, alguns pontos de interesse para determinação da geometria devem ser definidos. Na Figura 28, onde a estrutura da bengala é representada por linhas únicas (vista isométrica com o assento aberto), são identificados alguns destes pontos. A base é definida pelos pés que tocam o chão, identificados pelos pontos BCD. O ponto A determina o vértice de encontro das pernas do assento, identificadas pelas arestas AB, AC e AD. O assento é delimitado pelos pontos EFG e sustentado pelas arestas AE, AF e AG.

Figura 28 – Estrutura unifilar da bengala com assento aberto



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos pontos definidos é possível estabelecer algumas correlações: de forma a facilitar a determinação das forças é preferível que os triângulos imaginários formados pelos vértices BCD e EFG sejam equiláteros. Da mesma forma, para garantir o equilíbrio do conjunto, é ideal para o projeto que a projeção P do centro de massa do assento, que neste caso condiz com o centro geométrico do triângulo EFG, coincida com o centro geométrico do triângulo BCD. Também é interessante, com o intuito de simplificar o projeto, considerar que o ponto A, onde ocorre o encontro entre as barras, se localize na metade da altura H determinada pelos triângulos BCD e EFG. Como resultado, tem-se que todas as arestas inclinadas identificadas na Figura 28 podem ser consideradas de comprimento igual.

A altura do assento H representa um dado de entrada crítico e que será utilizado como base para definição das demais dimensões. Segundo um estudo publicado pela NCBI (*National Center for Biotechnology Information*), assentos destinados para pessoas idosas devem possuir altura entre 430 e 470 mm (BLACKLER, BROPHY, *et al.*, 2018).

Para este projeto foi considerada a altura de 450 mm para o assento. Definida esta altura, é possível estimar uma distância L adequada entre os pés do conjunto (determinados pelos segmentos imaginários BC, CD e DB). Foi considerada para o conceito inicial a distância L de 335 mm, o que significa que as barras que formam os pés e os suportes do assento se inclinarão aproximadamente 60°. Com isto pode-se desenhar o triângulo BCD inscrito em um círculo I e calcular o raio R do mesmo através da Equação 11 (SILVA, 2021).

$$R = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

$$R = \frac{335 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 193,412 \text{ mm}$$

Equação 11

Tendo a altura total do assento H, e considerando que o ponto A se localizará na metade desta altura (H/2), é possível delimitar um triângulo retângulo onde a hipotenusa é uma das arestas inclinadas, o cateto vertical é H/2 e o cateto horizontal é R. Através do teorema de Pitágoras, resolvendo para a hipotenusa (Equação 12), tem-se:

$$\text{Aresta inclinada} = \sqrt{\left(\frac{H}{2}\right)^2 + (R)^2}$$

Equação 12

$$\text{Aresta inclinada} = \sqrt{\left(\frac{450 \text{ mm}}{2}\right)^2 + (193,412 \text{ mm})^2} = 296,704 \text{ mm}$$

resultando assim no comprimento das arestas inclinadas AB, AC, AD, AE, AF e AG como sendo 296,7 mm.

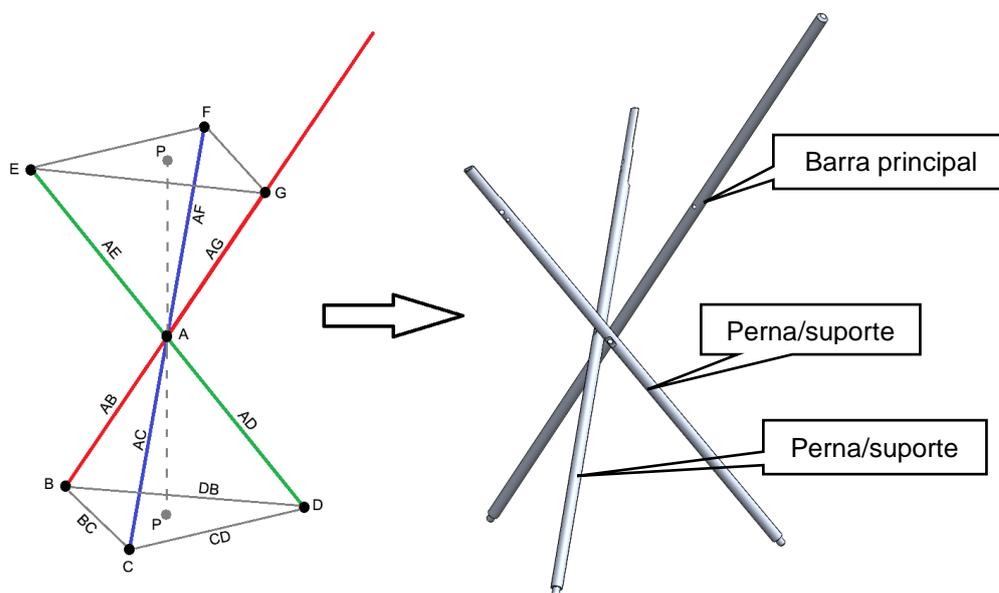
Para os estudos iniciais de projeto foi considerado como comprimento total da bengala 900 mm, o que é um tamanho condizente para uma pessoa de altura 1,76 m (HOVAILLO, 2020).

4.4.2 Projeto conceitual

O projeto 3D descrito neste item é feito utilizando o software CAD *SolidWorks*. Aqui são apresentados os resultados de projeto após as iterações necessárias para o correto funcionamento do mecanismo de abertura e fechamento. Os itens modelados nesta etapa objetivam dar forma ao projeto e não consideram ainda possíveis modificações decorrentes das análises das solicitações que serão efetuadas posteriormente.

O projeto inicia com a adaptação do esquema estrutural unifilar, já com as correlações e dimensões expostas no item 4.4.1. Para tal foram modeladas no software CAD três barras com os comprimentos definidos anteriormente (ver Figura 29).

Figura 29 – Adaptação da estrutura unifilar para o modelo 3D



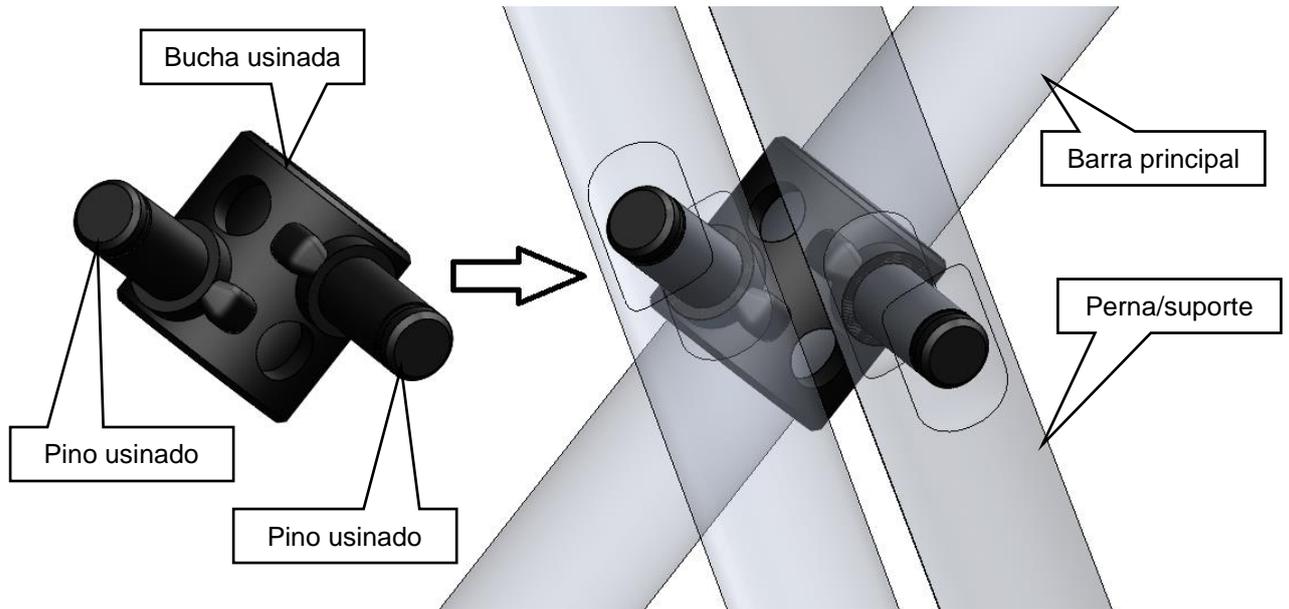
Fonte: elaborado pelo autor.

Uma das características desejadas pelo consumidor, observada nos resultados do QFD (item 4.1), foi o interesse por um produto de baixo peso. Assim foi optado pelo uso de uma estrutura formada por barras de alumínio devido a sua baixa densidade, de aproximadamente 2800 kg/m^3 , quando comparada com aço (7800 kg/m^3) (NORTON, 2013).

Para atender outra característica desejada pelo consumidor, o baixo custo, foram utilizadas aqui barras de alumínio com diâmetro $\varnothing 1/2''$, com o intuito de aproveitar materiais de seção comercial e de fácil aquisição no mercado.

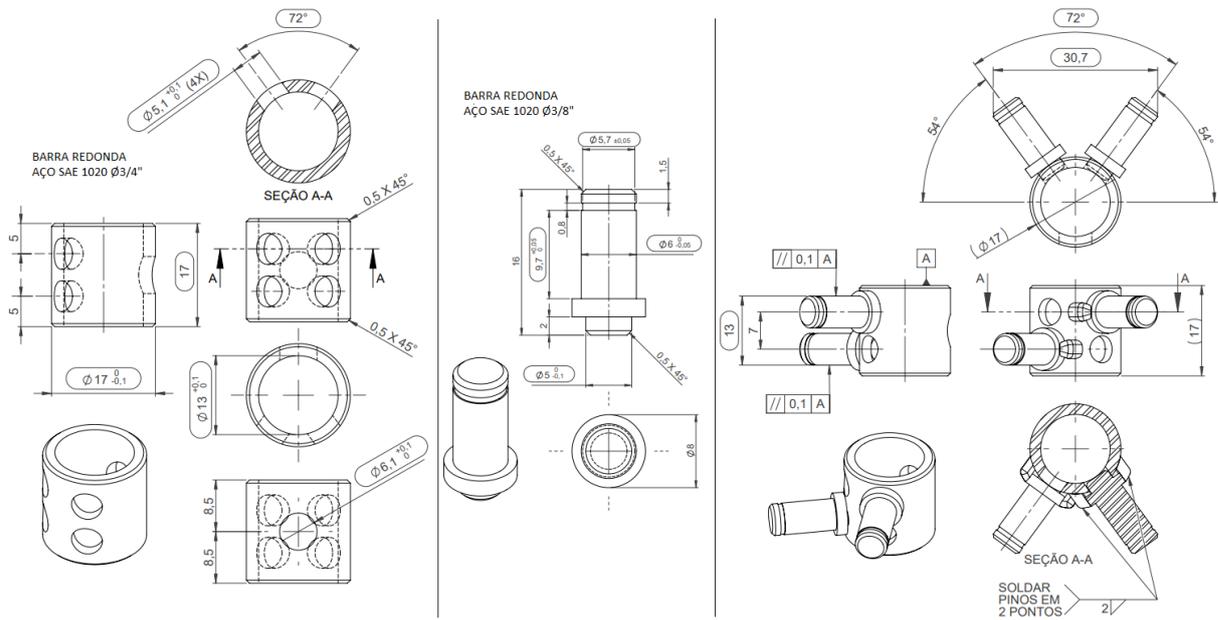
Conforme exposto no esquema unifilar, havia a intenção de fazer com que as barras pivotassem em uma altura fixa $H/2$ (Figura 28). Porém, como se objetiva aqui possibilitar uma fácil abertura do degrau (também uma característica desejada pelo consumidor), o movimento das duas pernas/suportes do assento deve ser simultâneo. Para que não ocorra a colisão dos componentes durante o movimento, a altura do ponto pivotante de uma das pernas ficou 7 mm mais alta que o ponto da outra perna. Para realizar a fixação das barras de forma “defasada”, foi utilizado um componente composto por uma bucha com dois pinos soldados, conforme Figura 30. Este componente é encaixado através da bucha na barra principal (travado por um parafuso cabeça sextavado interno M6x12) e as pernas/suportes são encaixados nos pinos de diâmetro $\varnothing 6 \text{ mm}$. O dimensional completo da bucha e dos pinos podem ser vistos na Figura 31.

Figura 30 – Componente soldado para fixação das pernas/suportes



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 31 – Dimensional da bucha e dos pinos usinados



Fonte: elaborado pelo autor.

Devido as correções necessárias para que as pernas do assento não entrem em interferência mecânica entre si, o tamanho das mesmas foi modificado de 296,7 mm (valor calculado no item 4.4.1) para 316 mm.

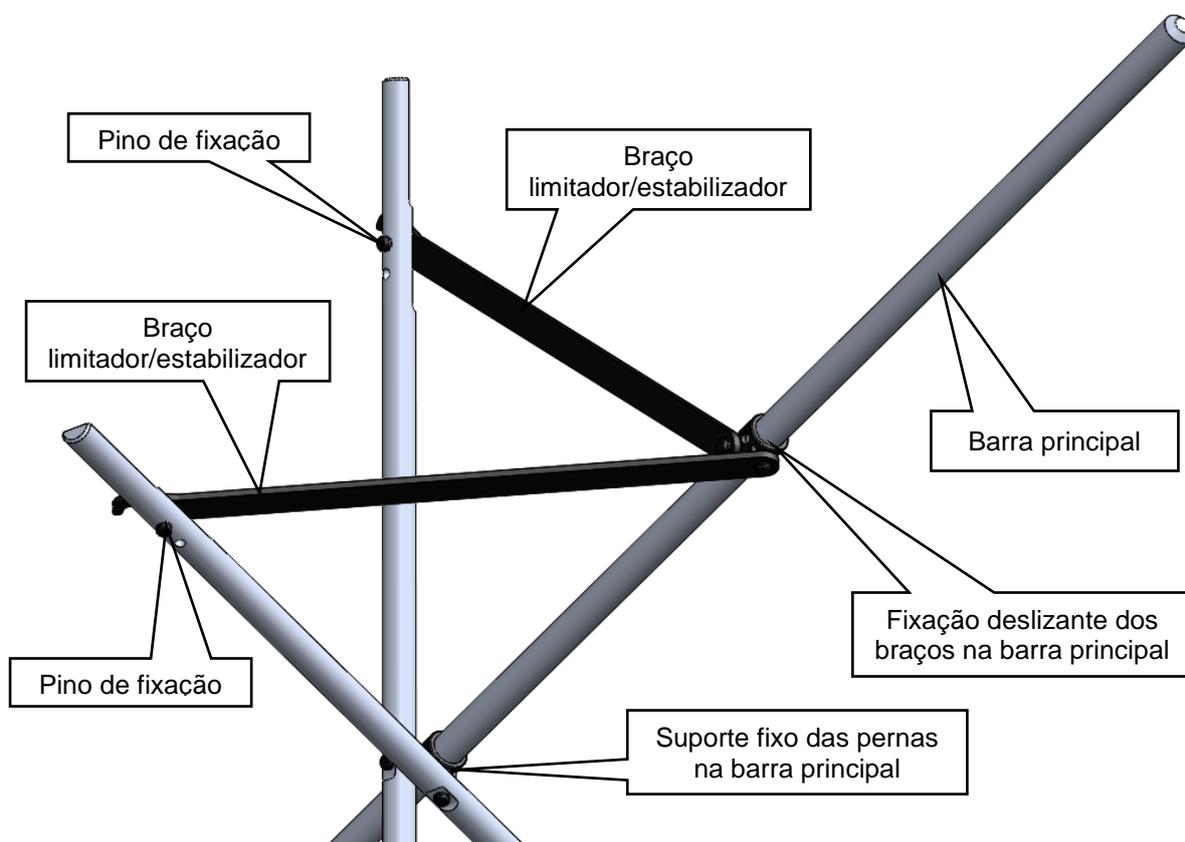
Para limitar o curso de abertura e prover uma maior estabilidade ao assento quando aberto, foram adicionados ao projeto dois braços estabilizadores que permitem a articulação das pernas/suportes (Figura 32). Estes braços são

confeccionados a partir de chapas de aço, espessura 3 mm e comprimento 255,5 mm, cortadas no laser. Os braços são então fixados nas extremidades dos suportes dos assentos por pinos usinados livres de diâmetro $\text{Ø}6$ mm, e na barra principal por uma bucha com dois pinos soldados, similar ao componente da Figura 30. Este componente soldado irá deslizar através da barra principal, de forma similar ao suporte central das hastes de um guarda-chuva.

Todos os pinos deste projeto possuem ranhura usinada para posterior fixação com anel de retenção externo de diâmetro $\text{Ø}6$ mm.

Para manter o baixo custo de confecção das peças, não foram utilizadas tolerâncias de encaixe apertadas (todo os pinos e furos possuem folgas de 0,1 mm).

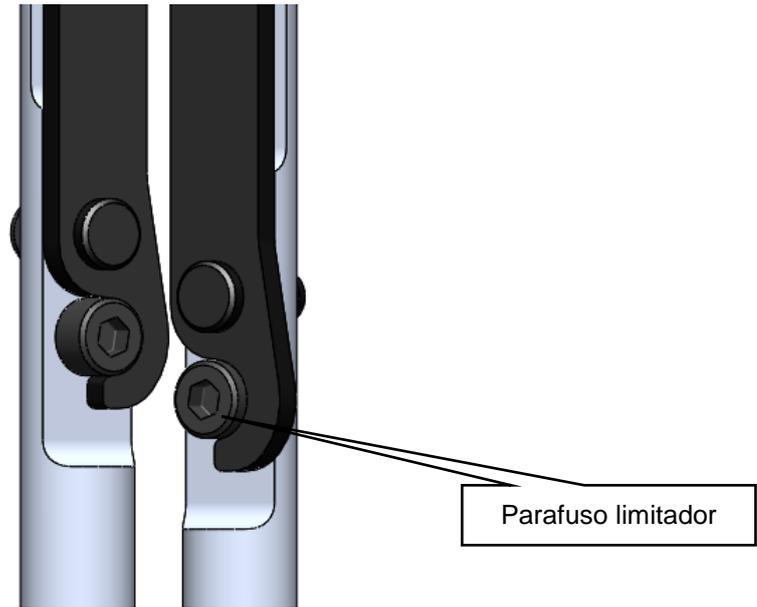
Figura 32 – Braços estabilizadores



Fonte: elaborado pelo autor.

Para limitar o curso de fechamento do assento, cada uma das chapas que formam os braços possuem uma geometria em forma de gancho em suas extremidades (Figura 33). Esta geometria limitará o curso de fechamento quando entrar em contato com os parafusos limitadores (cabeça sextavado interno M5x8).

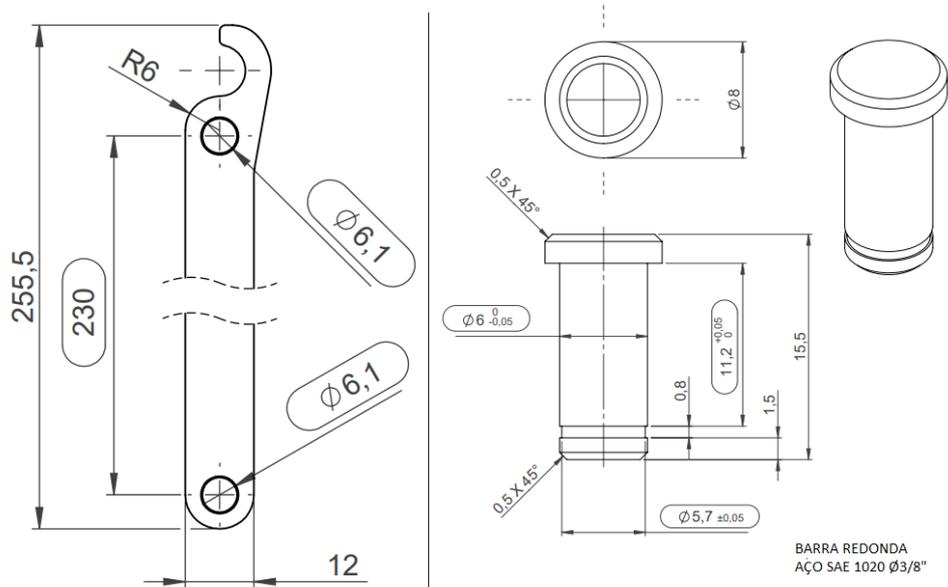
Figura 33 – “Ganchos” e parafusos limitadores de curso de fechamento



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 34 ilustra o dimensional dos braços estabilizadores e dos pinos de fixação nas extremidades dos suportes do assento.

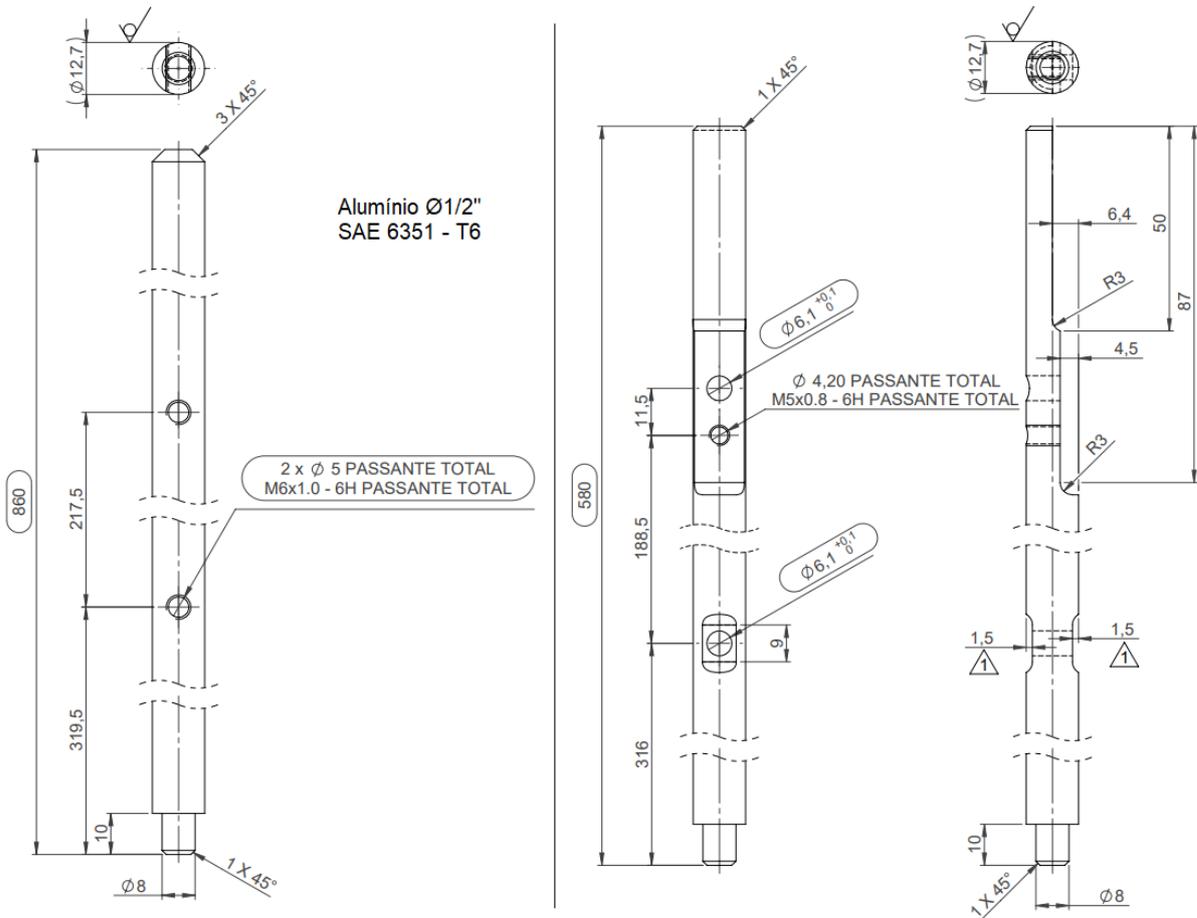
Figura 34 – Dimensional dos braços estabilizadores e dos pinos de fixação



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 35 ilustra o dimensional da barra principal e das pernas/suportes após o término das iterações do projeto inicial.

Figura 35 – Dimensional da barra principal (esquerda) e barras secundárias (direita)



Fonte: elaborado pelo autor.

O assento foi confeccionado em tecido, de forma que o mesmo possa se recolher ao redor da bengala quando esta se encontrar com o assento fechado. Desta forma o próprio tecido do assento pode ser utilizado para manter o mecanismo fechado, sendo enrolado ao redor da barra principal e preso através de um sistema de gancho e argola (*Velcro*). Quando aberto, o assento ficará apoiado em três pontos, conforme Figura 36. Para a confecção do protótipo foi utilizado um tecido do tipo gorgurão, na cor preta.

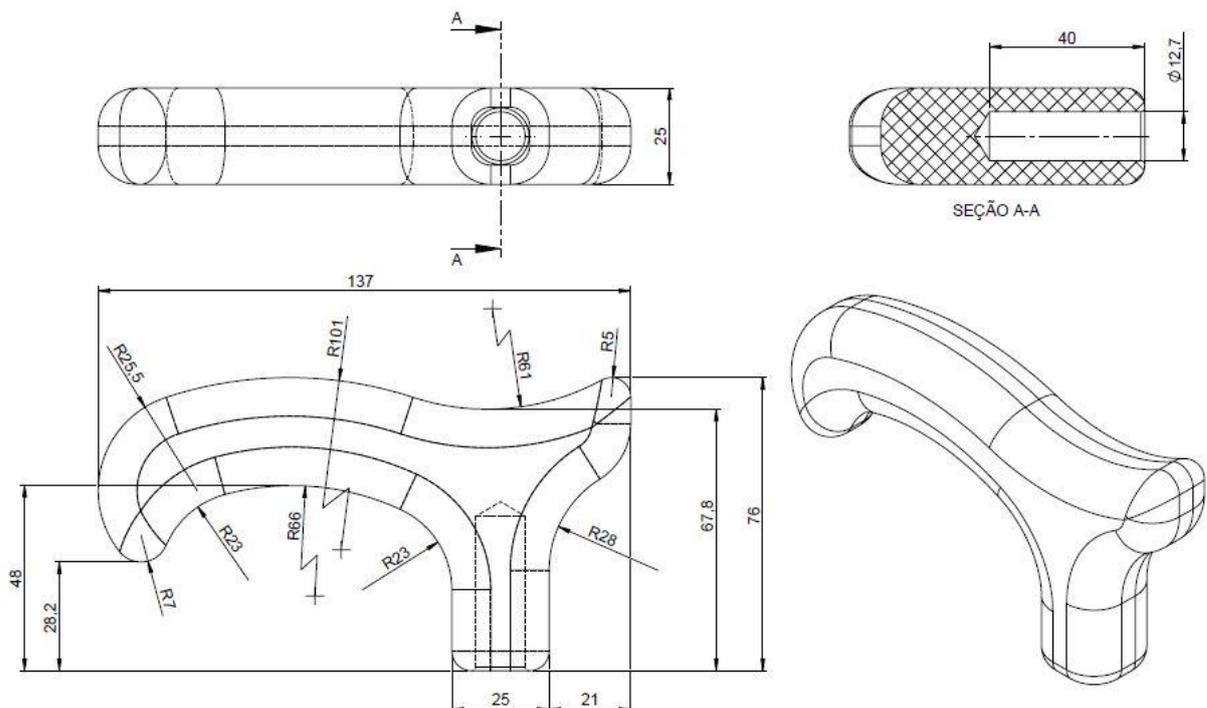
Figura 36 – Assento aberto



Fonte: elaborado pelo autor.

A empunhadura foi projetada para ser injetada em polímero, com um design anatômico baseada no modelo do tipo *crutch* (ver item 2.5.3). Geometria e dimensões da empunhadura podem ser vistas na Figura 37. Para a montagem do protótipo, a peça será confeccionada a partir de uma impressora 3D, utilizando FDM – Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling*).

Figura 37 - Geometria e dimensões da empunhadura



Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se aqui que a utilização da técnica de impressão 3D é aplicável apenas para teste em protótipo, uma vez que o projeto final prevê uma empunhadura fabricada em polímero injetado, considerando os esforços que a mesma deverá suportar.

Com o assento em tecido e a empunhadura em formato anatômico busca-se proporcionar um maior conforto ao usuário, atendendo ambos os pontos de importância levantados no QFD.

Os pés da bengala e do assento serão confeccionados em borracha nitrílica (NBR), de forma garantirem uma maior aderência ao chão e reduzir a possibilidade de deslizamento do produto quando apoiado em superfícies lisas. Assim atende-se outro tópico levantado no QFD, onde o resultado demonstrou a preferência por pés antideslizantes.

A Figura 38 ilustra o produto montado com todos os componentes fabricados e elementos de fixação, onde:

2021A0001 (1 unidade): barra principal que constitui a bengala e serve como elemento de fixação para os demais componentes;

2021A0002 (3 unidades): pés antideslizantes que serão encaixados nas extremidades das pernas do assento;

2021A0005 (2 unidades): pernas e suportes articuláveis do assento;

2021A0006 (2 unidades): braços articuladores e estabilizadores;

2021A0007 (1 unidade): assento de tecido;

2021A0009 (2 unidades): pinos fixadores dos braços;

2021A0010 (1 unidade): empunhadura de polímero;

2021A0011 (1 unidade): suporte fixo das pernas;

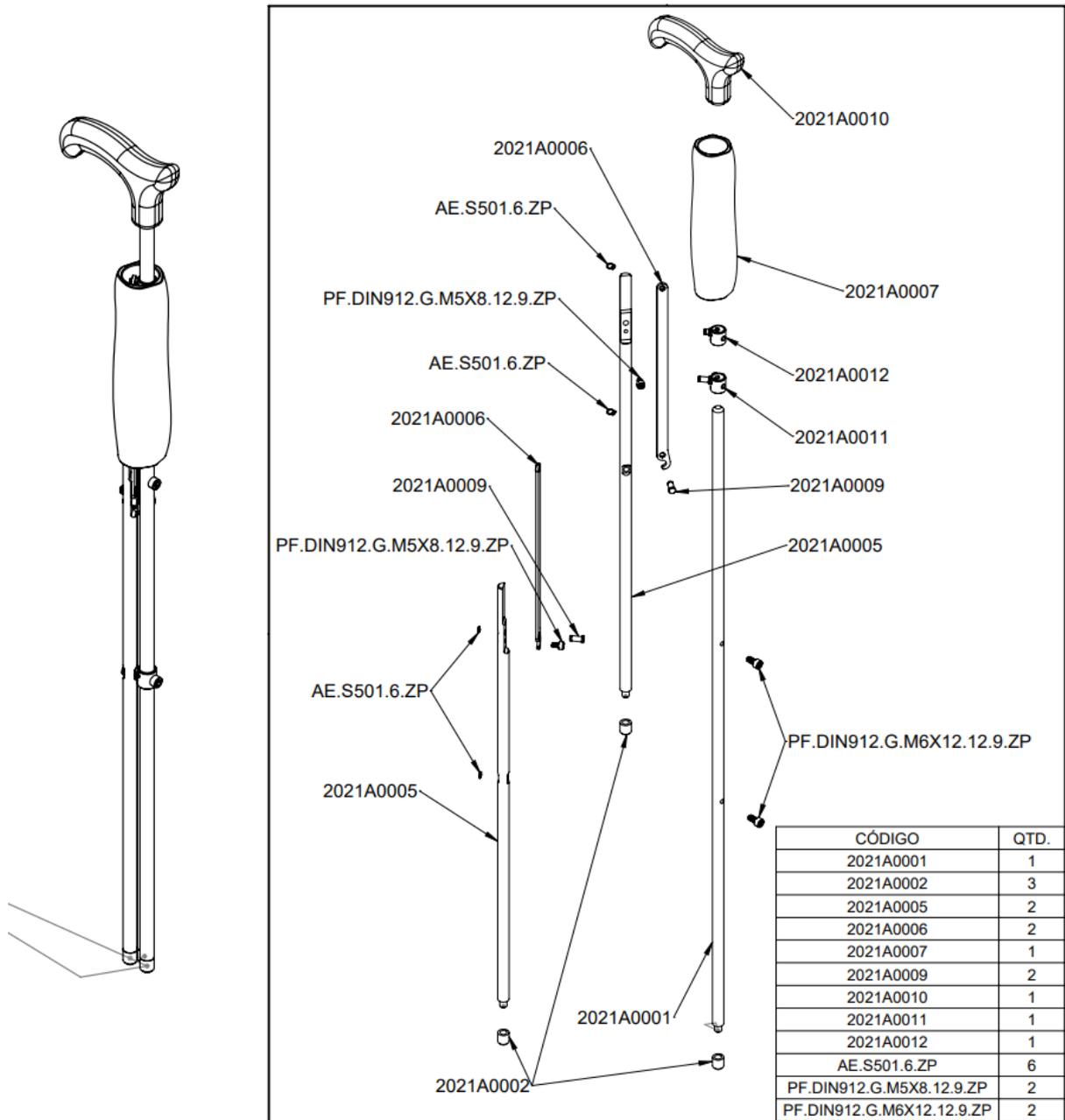
2021A0012 (1 unidade): suporte deslizante dos braços articuladores;

AE.S501.6.ZP (6 unidades): anel de retenção para eixos Ø6 mm;

PF.DIN912.G.M5X8.12.9.ZP (2 unidades): parafuso métrico, cabeça cilíndrica sextavado interno (*Allen*), DIN 912, rosca grossa, M5x8, classe 12.9, zincado preto;

PF.DIN912.G.M6X12.12.9.ZP (2 unidades): parafuso métrico, cabeça cilíndrica sextavado interno (*Allen*), DIN 912, rosca grossa, M6x12, classe 12.9, zincado preto.

Figura 38 – Produto montado e vista explodida com identificação dos itens



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 39 ilustra o movimento dos componentes no decorrer do curso de fechamento do assento.

Figura 39 - Estudo de movimento dos componentes



Fonte: elaborado pelo autor.

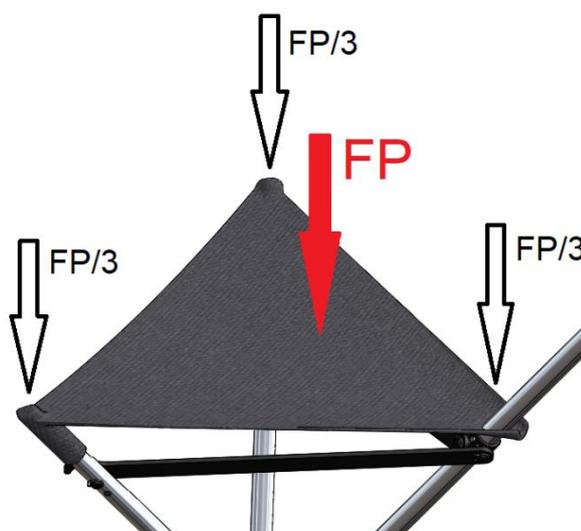
4.5 Resultados dos cálculos das tensões

Este item aborda os resultados obtidos com os cálculos para determinação das tensões resultantes nos componentes críticos.

4.5.1 Determinação das forças e reações

Para o cálculo das tensões é necessário primeiro determinar as forças principais atuantes sobre o conjunto e suas respectivas reações. Para tal, foi considerada a força peso suportada pelo assento. Conforme visto na Figura 36, o assento é apoiado em três pontos, sendo que a força peso FP exercida pelo usuário será distribuída nestes pontos, identificados como $FP/3$ na Figura 40.

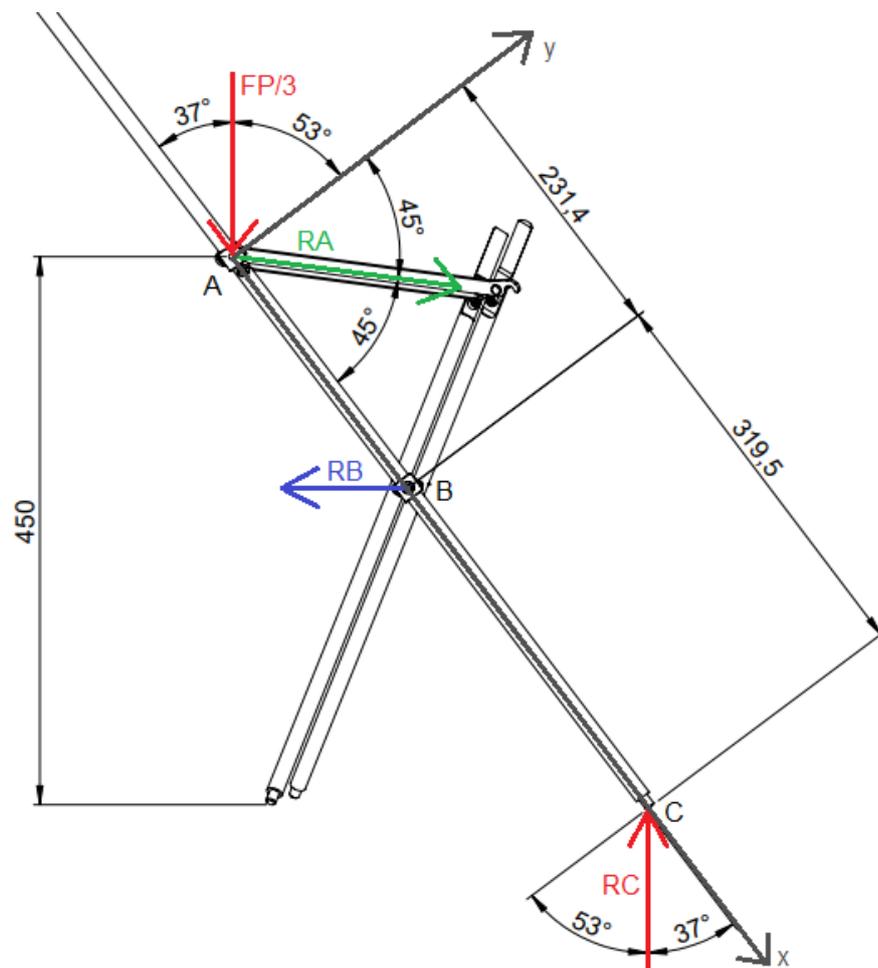
Figura 40 – Forças distribuídas no assento



Fonte: elaborado pelo autor.

Como as três barras que sustentam o assento possuem carregamento similares, serão consideradas aqui as forças atuantes na barra principal da bengala, com o assento aberto. Na Figura 41 constam a força $FP/3$ e as reações subsequentes, que serão determinadas nos pontos A, B e C. Também foram inseridos os eixos x e y, que auxiliarão na decomposição das forças, bem como os ângulos e as distâncias entre os pontos identificados.

Figura 41 – Forças e reações na barra principal



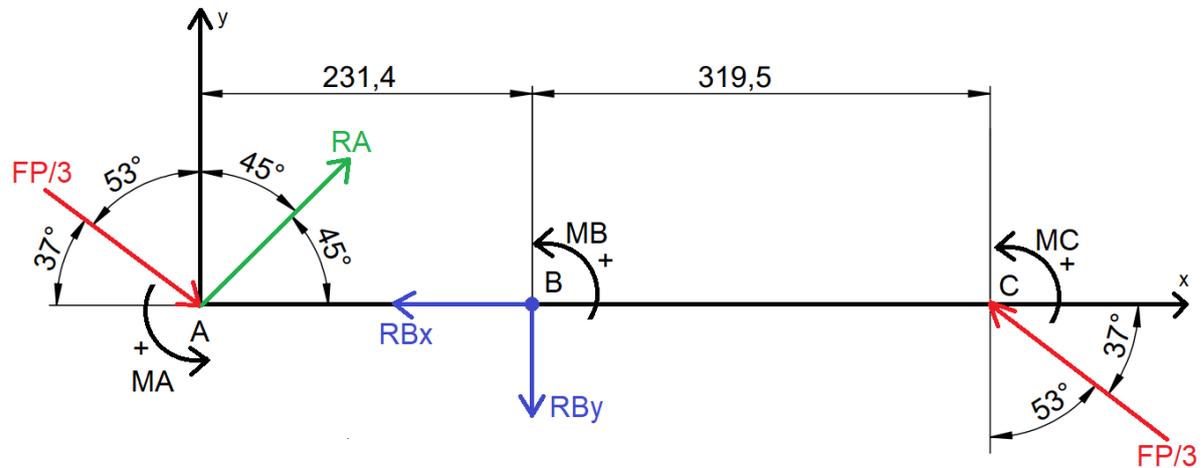
Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se aqui que a reação RC será igual a força $FP/3$, uma vez que, assim como o peso do usuário é dividido em três, as reação de apoio da bengala/assento no chão também se divide entre os três pés.

Para facilitar a compreensão e a visualização das forças e reações, a barra principal foi rotacionada de forma a alinhar os eixos no plano cartesiano (Figura 42

Figura 42). Os cálculos a seguir levam em consideração as distâncias e ângulos ilustrados nesta figura.

Figura 42 – Forças e reações na barra principal rotacionada



Fonte: elaborado pelo autor.

A Equação 13, com base na Figura 42, demonstra o cálculo do somatório das forças no eixo x, que é igual a zero.

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \frac{FP}{3} \times \cos 37^\circ + RA \times \cos 45^\circ - RB_x - \frac{FP}{3} \times \cos 37^\circ &= 0 \quad \text{Equação 13} \\ RA \times \cos 45^\circ - RB_x &= 0\end{aligned}$$

Onde:

FP: força peso exercida pelo usuário sobre o assento [N];

RA: reação no ponto causada pelo braço estabilizador [N];

RB_x: reação no ponto B decomposta no eixo x [N].

A Equação 14 demonstra o cálculo do somatório das forças no eixo y, também igual a zero.

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ -\frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ + RA \times \cos 45^\circ - R_{B_y} + \frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ &= 0 \quad \text{Equação 14} \\ RA \times \cos 45^\circ - R_{B_y} &= 0\end{aligned}$$

Onde:

R_{B_y}: reação no ponto B decomposta no eixo y [N].

O cálculo do somatório dos momentos no ponto A (Equação 15), que deve ser igual a zero, permite isolar e determinar a reação RBy em função da força peso FP.

$$\begin{aligned}\Sigma MA &= 0 \\ -RBy \times 231,4mm + \frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ \times 550,9mm &= 0 \\ RBy &= \frac{\frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ \times 550,9mm}{231,4mm} \\ RBy &= 0,4776FP\end{aligned}\quad \text{Equação 15}$$

O cálculo do somatório dos momentos no ponto B (Equação 16), que deve ser igual a zero, permite isolar e determinar a reação RA, também em função da força peso FP.

$$\begin{aligned}\Sigma MB &= 0 \\ \frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ \times 231,4mm - RA \times \cos 45^\circ \times 231,4mm + \frac{FP}{3} \\ &\times \cos 53^\circ \times 319,5mm = 0 \\ RA &= \frac{\frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ \times 231,4mm + \frac{FP}{3} \times \cos 53^\circ \times 319,5mm}{\cos 45^\circ \times 231,4mm} \\ RA &= 0,6754FP\end{aligned}\quad \text{Equação 16}$$

Ao relacionar-se a Equação 16 com a Equação 13, pode-se determinar a reação RBx:

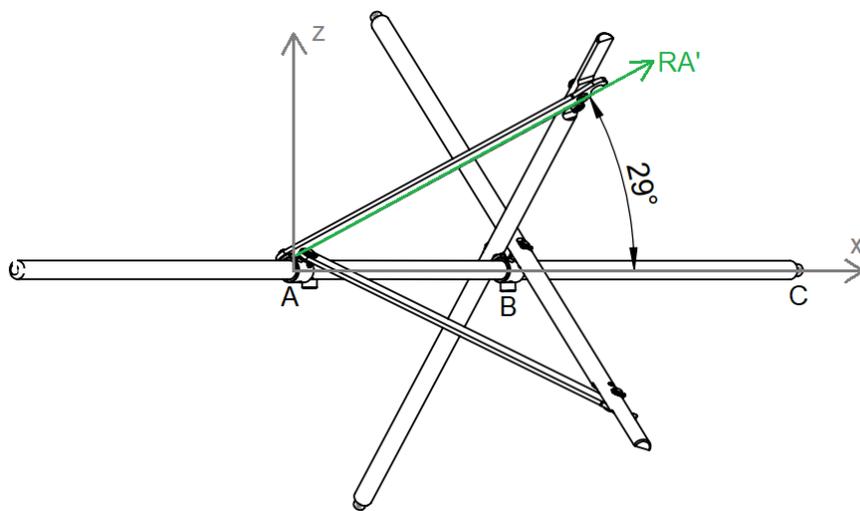
$$\begin{aligned}RA \times \cos 45^\circ - RBx &= 0 \\ (0,6754FP) \times \cos 45^\circ - RBx &= 0 \\ RBx &= 0,4776FP\end{aligned}\quad \text{Equação 17}$$

Com os resultados de RBx e RBy, determina-se a reação resultante RB na Equação 18.

$$\begin{aligned}RB &= \sqrt{RBx^2 + RBy^2} \\ RB &= \sqrt{(0,4776FP)^2 + (0,4776FP)^2} \\ RB &= 0,6754FP\end{aligned}\quad \text{Equação 18}$$

Conforme já era esperado pela disposição das forças e os ângulos das mesmas, as reações RA e RB se mostraram idênticas, porém é necessário observar que a reação RA não decorre de um elemento alinhado com o plano xy. Na Figura 43, que representa o alinhamento da Figura 41, porém projetado com a vista superior, observa-se que o braço articulador/estabilizador se encontra inclinado em relação ao plano xy em 29°, o que significa que a força RA real (que será chamada de RA') será dada pela Equação 19.

Figura 43 – Inclinação da reação RA'



Fonte: elaborado pelo autor.

$$RA' = \frac{RA}{\cos 29^\circ} = \frac{0,6754FP}{\cos 29^\circ}$$

$$RA' = 0,7722FP$$

Equação 19

A Equação 20 e a Equação 21 ilustram o valor das reações RA' e RB, decorrentes de uma carga FP de 100 kgf, resultando em 757,3 N e 662,3 N respectivamente.

$$RA' = 0,7722FP$$

$$RA' = 0,7722 \times \left(100 \text{ kg} \left| \frac{9,8067 \text{ kg}}{\text{m/s}^2} \right| \left| \frac{\text{N m/s}^2}{\text{kg}} \right| \right)$$

$$RA' = 757,3 \text{ N}$$

Equação 20

$$RB = 0,6754FP$$

$$RB = 0,6754 \times \left(100 \text{ kg} \left| \frac{9,8067 \text{ kg}}{\text{m/s}^2} \right| \left| \frac{\text{N m/s}^2}{\text{kg}} \right| \right) \quad \text{Equação 21}$$

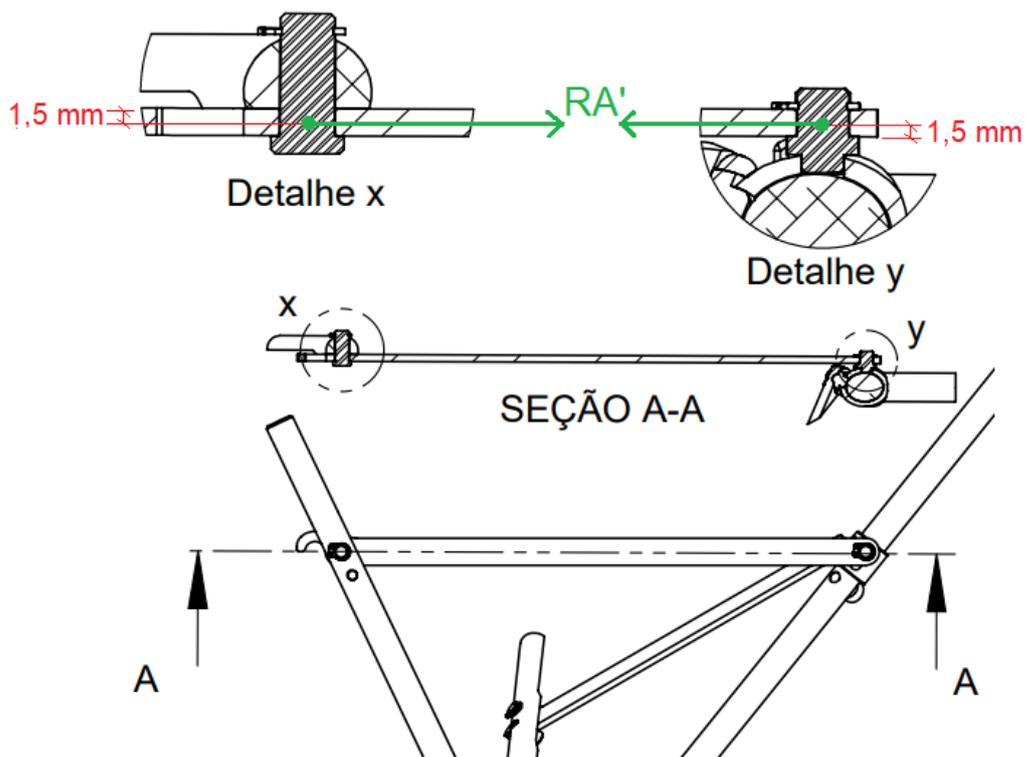
$$RB = 662,3 \text{ N}$$

4.5.2 Cálculos das tensões resultantes

Serão analisadas as tensões em cinco componentes considerados críticos por suportarem as solicitações calculadas no item 4.5.1. São estes o pino fixador do braço (2021A0009), o pino pertencente ao suporte deslizante dos braços articuladores (2021A0012), o pino pertencente ao suporte fixo das pernas (2021A0011), o braço articulador (2021A0006), e a barra principal (2021A0001). Estes itens podem ser localizados e identificados através da Figura 38.

O pino 2021A0009 e o pino do suporte deslizante 2021A0012 serão avaliados quanto à resistência ao cisalhamento simples, onde será considerada a força da reação RA' , calculada no item 4.5.1, para um usuário cuja massa é 100 kg. A Figura 44 ilustra a reação RA' agindo nos pinos em questão.

Figura 44 – Detalhe da reação RA' nos pinos analisados



Fonte: elaborado pelo autor.

Utilizando a Equação 1 e a Equação 2 vistas no item 3.2.2, pode-se calcular na Equação 22 a tensão cisalhante causada por RA'. Como ambos os pinos possuem diâmetro de Ø6 mm e estão submetidos à mesma força RA', a tensão será igual para os dois componentes: 26,8 N/mm².

$$\tau RA'_{\text{cisalhamento}} = \frac{RA'}{\pi \times r_{\text{pino}}^2}$$

Equação 22

$$\tau RA'_{\text{cisalhamento}} = \frac{757,2734 \text{ N}}{\pi \times (3 \text{ mm})^2} = 26,8 \text{ N/mm}^2$$

Considerando que existem folgas no encaixe dos pinos, ocorre também o surgimento de tensões de flexão, resultantes do momento gerado pela reação RA'. Com a Equação 3, Equação 4 e Equação 5, é possível calcular estas tensões resultantes na Equação 23. Para ambos os pinos foi considerada a mesma distância L de 1,5 mm entre o ponto de aplicação da força e a fixação do componente. Como resultado obteve-se uma tensão de flexão de 53,6 N/mm².

$$\sigma RA'_{\text{flexão}} = \frac{RA' \times L}{\frac{\pi \times (\phi_{\text{pino}})^4}{64}} \times \left(\frac{\phi_{\text{pino}}}{2} \right)$$

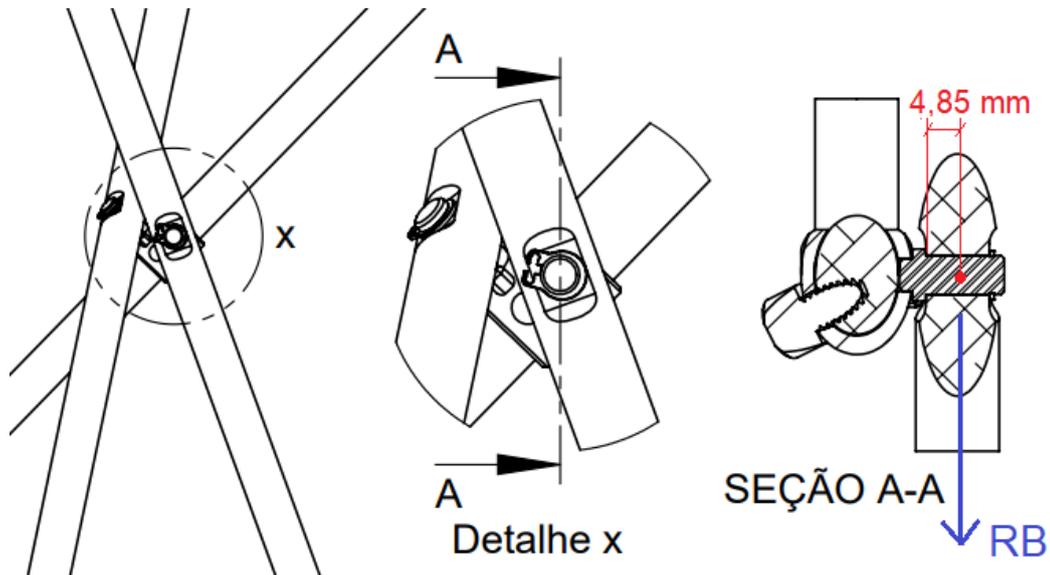
Equação 23

$$\sigma RA'_{\text{flexão}} = \frac{757,2734 \text{ N} \times 1,5 \text{ mm}}{\frac{\pi \times (6 \text{ mm})^4}{64}} \times \left(\frac{6 \text{ mm}}{2} \right) = 53,6 \text{ N/mm}^2$$

O pino pertencente ao suporte fixo 2021A0011 precisa suportar a carga imposta pela reação RB, onde será considerado o valor calculado no item 4.5.1, para um usuário cuja massa é 100 kg.

A Figura 45 ilustra a reação RB agindo no pino em questão.

Figura 45 – Detalhe da reação RB no pino analisado



Fonte: elaborado pelo autor.

Utilizando a Equação 1 e a Equação 2 vistas no item 3.2.2, pode-se calcular na Equação 24 a tensão cisalhante causada por RB. Nesta análise a tensão calculada foi 23,4 N/mm².

$$\tau_{RB_{\text{cisalhamento}}} = \frac{662,3445 \text{ N}}{\pi \times (3 \text{ mm})^2} = 23,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Equação 24}$$

Com a Equação 3, Equação 4 e Equação 5, é possível calcular a tensão de flexão resultante na Equação 25. Foi considerada aqui a distância L de 4,85 mm entre o ponto de aplicação da força e a fixação do componente. Como resultado obteve-se uma tensão de flexão de 151,5 N/mm².

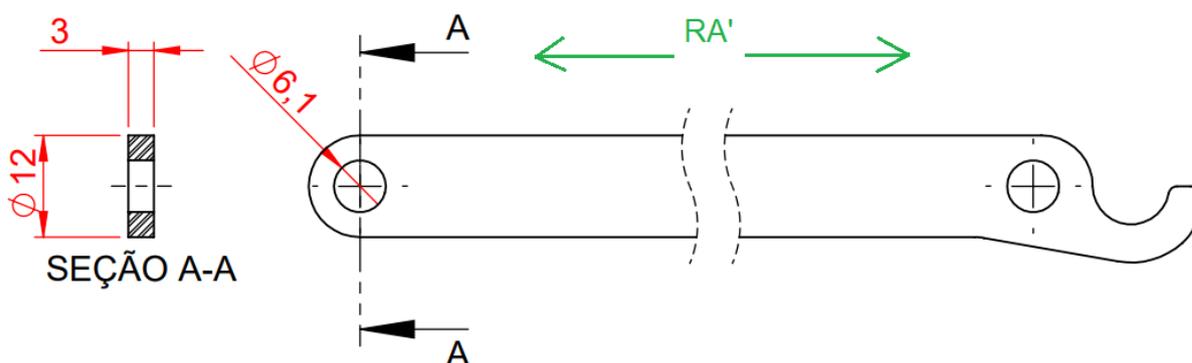
$$\sigma_{RB_{\text{flexão}}} = \frac{662,3445 \times 4,85 \text{ mm}}{\frac{\pi \times (6 \text{ mm})^4}{64}} \times \left(\frac{6 \text{ mm}}{2}\right) = 151,5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Equação 25}$$

Considerando que os pinos são usinados em aço SAE 1020, e que a tensão de escoamento mínima deste material, quando laminado a quente, é de 207 MPa (NORTON, 2013), pode-se concluir que os pinos não sofrem risco de deformação ou ruptura nas situações de flexão analisadas. Considerando que a tensão de

cisalhamento deste material é 119 MPa (NORTON, 2013), pode-se também concluir que não ocorrerá deformação ou ruptura nas situações de cisalhamento analisadas.

O braço articulador 2021A0006 é submetido à reação RA' , ou seja, o mesmo é tracionado no sentido demonstrado na Figura 46. Será utilizado para o cálculo de tensão a Equação 1, na qual será aplicada a reação RA' calculada anteriormente e a área da menor seção perpendicular à força aplicada, identificada pelo corte A-A.

Figura 46 – Detalhe da reação RA' no braço



Fonte: elaborado pelo autor.

A Equação 26 demonstra que o resultado obtido para a tensão calculada no componente foi de 42,8 N/mm².

$$\sigma_{RA' \text{ tração}} = \frac{RA'}{A}$$

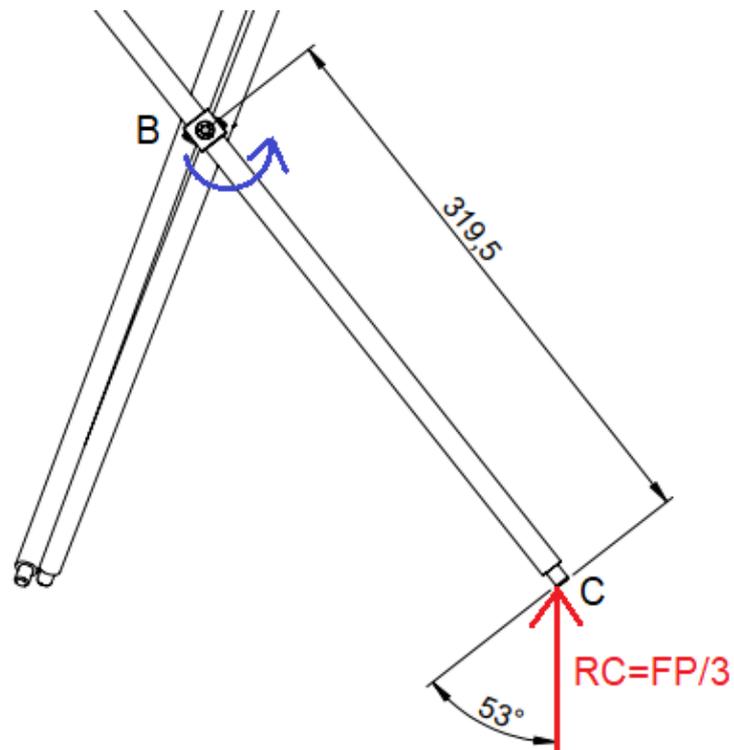
$$\sigma_{RA' \text{ tração}} = \frac{757,2734 \text{ N}}{(12 \text{ mm} - 6,1 \text{ mm}) \times 3 \text{ mm}} = 42,8 \text{ N/mm}^2$$

Equação 26

Considerando que o braço é fabricado com uma chapa de aço SAE 1010/20, cuja tensão de escoamento mínima, quando laminado a quente, é de 179 MPa (NORTON, 2013), pode-se concluir que não ocorrerá deformação ou ruptura na situação analisada.

A barra principal 2021A0001 possui como maior tensão aquela que é gerada pela flexão no ponto B, oriunda da força de reação RC , como pode ser visto na Figura 41, e com maior destaque na Figura 47.

Figura 47 – Momento fletor gerado no ponto B



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme visto no item 4.5.1, a força exercida pelo usuário nos apoios do assento $FP/3$ é igual a reação RC . A distância L será dada pela distância entre os pontos B e C, e o diâmetro da barra será $\varnothing 12,7$ mm. A tensão de flexão no ponto B, causada pela reação RC é calculada na Equação 27. Aqui foi considerado novamente o peso do usuário como sendo 100 kgf (980,67 N). Como resultado tem-se uma tensão de 312,6 N/mm².

$$\sigma_{RC_{flexão\ em\ B}} = \frac{FP/3 \times \cos 53^\circ \times L}{\frac{\pi \times (\phi_{barra})^4}{64}} \times \left(\frac{\phi_{barra}}{2}\right)$$

$$\sigma_{RC_{flexão\ em\ B}} = \frac{980,67\ N/3 \times \cos 53^\circ \times 319,5\ mm}{\frac{\pi \times (12,7\ mm)^4}{64}} \times \left(\frac{12,7\ mm}{2}\right) \quad \text{Equação 27}$$

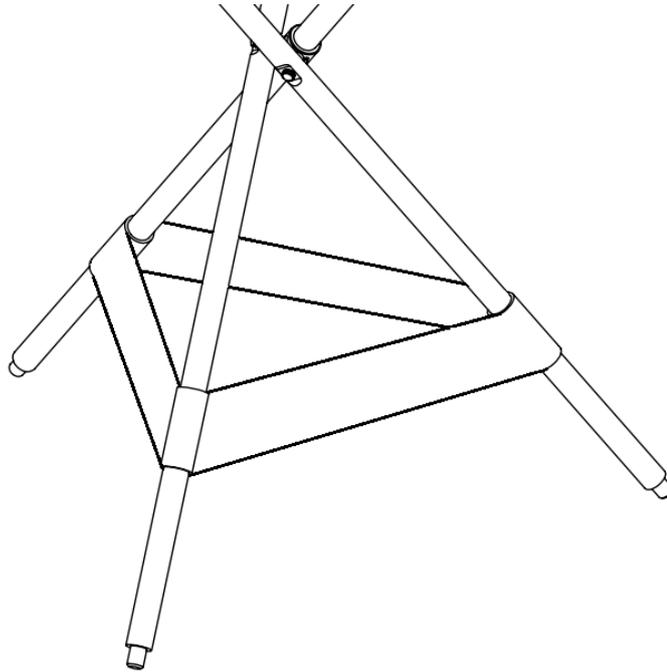
$$\sigma_{RC_{flexão\ em\ B}} = 312,6\ N/mm^2$$

Considerando que o material utilizado para estas barras, alumínio 6351 – T6, possui um limite de tensão de escoamento de 255 MPa (ALUMICOPPER, 2021), e o resultado obtido de 312,6 MPa é superior ao valor limite, é necessário readequar o projeto para redução das tensões próximo a região do ponto B.

Para contornar este problema e ao mesmo tempo evitar a alteração da estrutura do conjunto (aumentando a seção dos componentes, o que invariavelmente causaria o aumento de peso e o encarecimento do produto) foi adotada uma restrição que impede a abertura das pernas do assento acima das dimensões projetadas. Esta restrição é feita a partir de uma faixa de tecido com duas camadas, com 40 mm de largura, do mesmo material do assento.

Esta faixa de tecido foi fixada a 100 mm de distância dos pés do conjunto, conforme Figura 48. Assim, parte da carga que seria concentrada na região do ponto B acaba por ser distribuída através da restrição adicionada.

Figura 48 – Restrição inferior das pernas

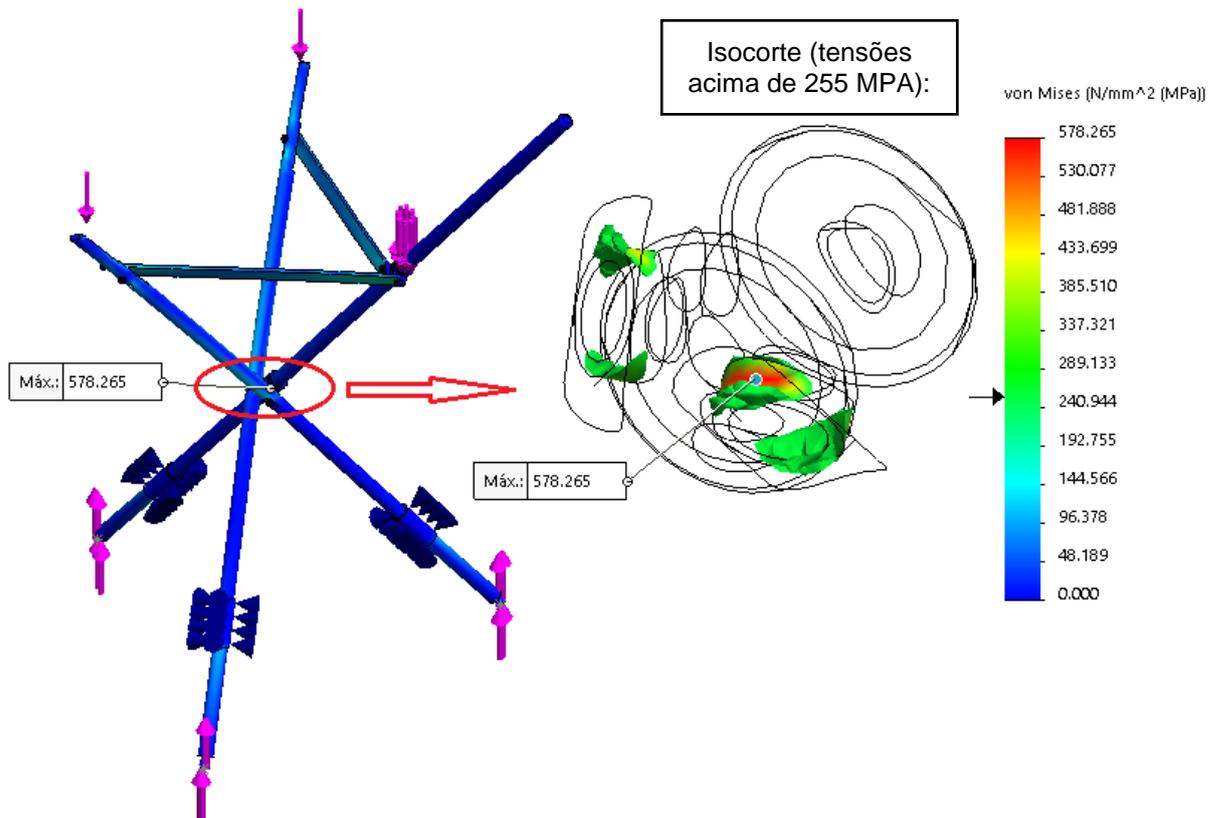


Fonte: elaborado pelo autor.

4.6 Resultados das análises FEA

A análise de elementos finitos avalia a força peso FP de 100 kgf exercida pelo usuário diretamente sobre a estrutura do conjunto. Para a análise foi utilizado o módulo de análise estática *Simulation*, pertencente ao software CAD *SolidWorks*, com os seguintes parâmetros de malha: malha com base em curvatura, 4 pontos jacobianos, com 6,701 mm de tamanho máximo e 1,34 mm de tamanho mínimo. As forças foram aplicadas conforme identificadas pelas setas na Figura 49, sendo que cada ponto de aplicação da carga equivale ao peso FP dividido por três (326,89 N).

Figura 49 – Resultado da análise FEA com detalhe *Isocorte* (à direita)



Fonte: elaborado pelo autor.

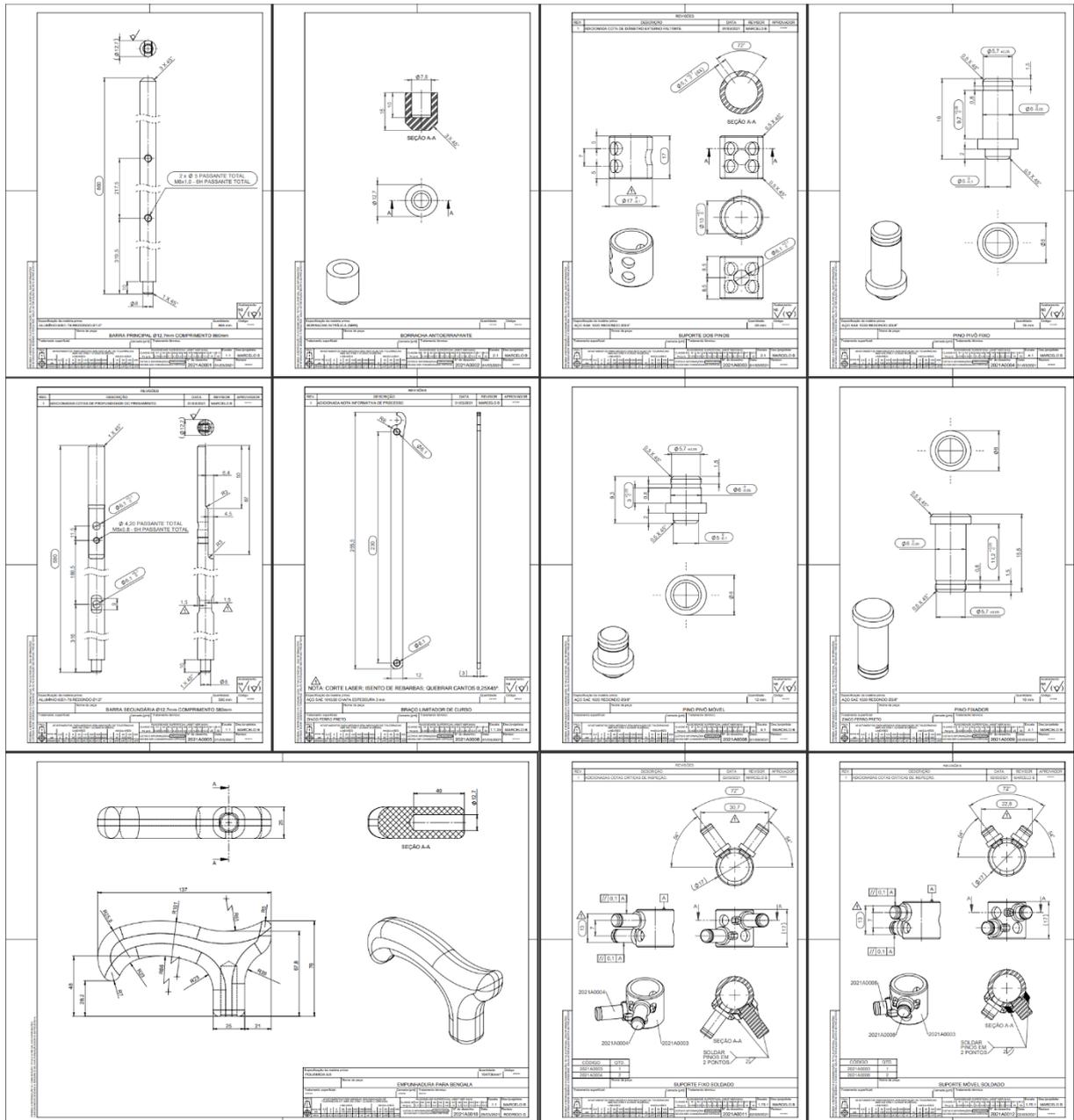
A análise demonstra baixos níveis de tensão no conjunto, sendo que os maiores valores foram destacados através da ferramenta *recorte ISO*, onde as regiões com concentração de tensão superior a 255 MPa podem ser observadas. Estes pontos de maior tensão estão localizados nos furos de fixação dos pinos soldados na peça 2021A0011, mais precisamente, no ponto de encontro das arestas dos componentes. Conforme o projeto, estas regiões serão preenchidas com solda, reduzindo assim drasticamente as tensões nestes locais através da distribuição das cargas. Na análise, nenhum dos componentes excedeu o limite de escoamento dos materiais previstos em projeto.

A resposta à fadiga na análise de elementos finitos não foi considerada, uma vez que o número de ciclos deste produto, para esta aplicação, pode ser considerado insignificante.

4.7 Prototipagem e processo de fabricação

Conforme o projeto desenvolvido, as peças necessárias para construção foram detalhadas e codificadas para produção, totalizando 11 desenhos, conforme Figura 50.

Figura 50 – Desenhos para fabricação



Fonte: elaborado pelo autor.

Para a construção do protótipo, as peças fabricadas podem ser vistas na série de fotografias a seguir.

As barras usinadas e fresadas em alumínio 6351 – T6, podem ser vistas na Fotografia 1.

Fotografia 1 – Barras usinadas e fresadas



Fonte: foto de autoria própria.

Os suportes com as buchas e os pinos de aço SAE 1020 soldados são vistos na Fotografia 2.

Fotografia 2 – Suporte fixo e suporte deslizante soldados



Fonte: foto de autoria própria.

A empunhadura fabricada através de uma impressora 3D, em PLA (poliácido láctico) é vista na Fotografia 3.

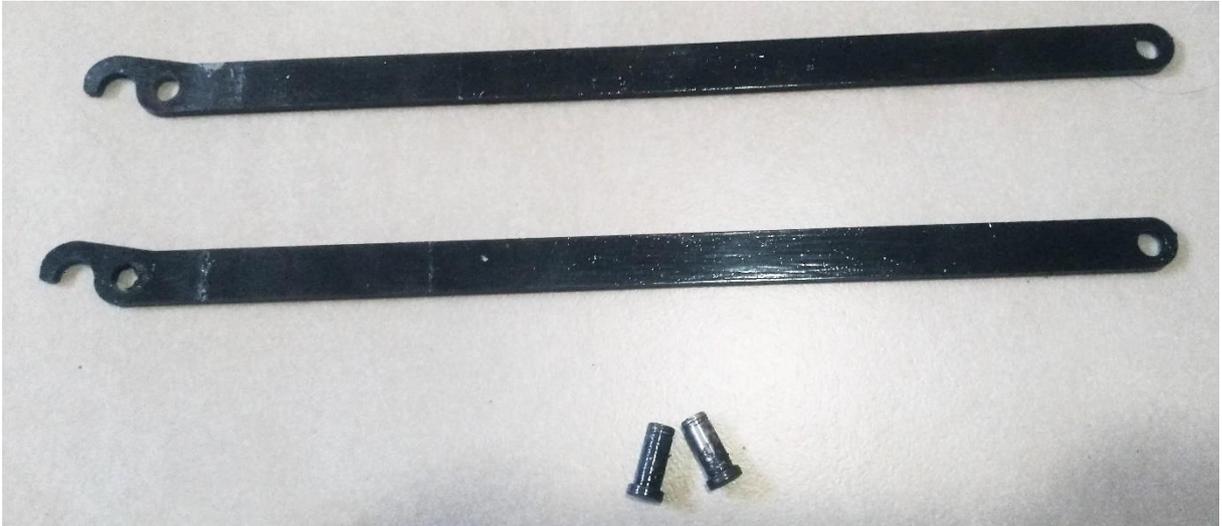
Fotografia 3 – Empunhadura impressa em 3D



Fonte: foto de autoria própria.

A Fotografia 4 mostra os braços estabilizadores/articuladores fabricados a partir de corte laser em aço SAE 1010 e os pinos de fixação dos mesmos, usinados em aço SAE 1020.

Fotografia 4 – Braços estabilizadores/articuladores e pinos de fixação



Fonte: foto de autoria própria.

Os pés antidesslizantes de borracha (NBR) podem ser vistos na Fotografia 5.

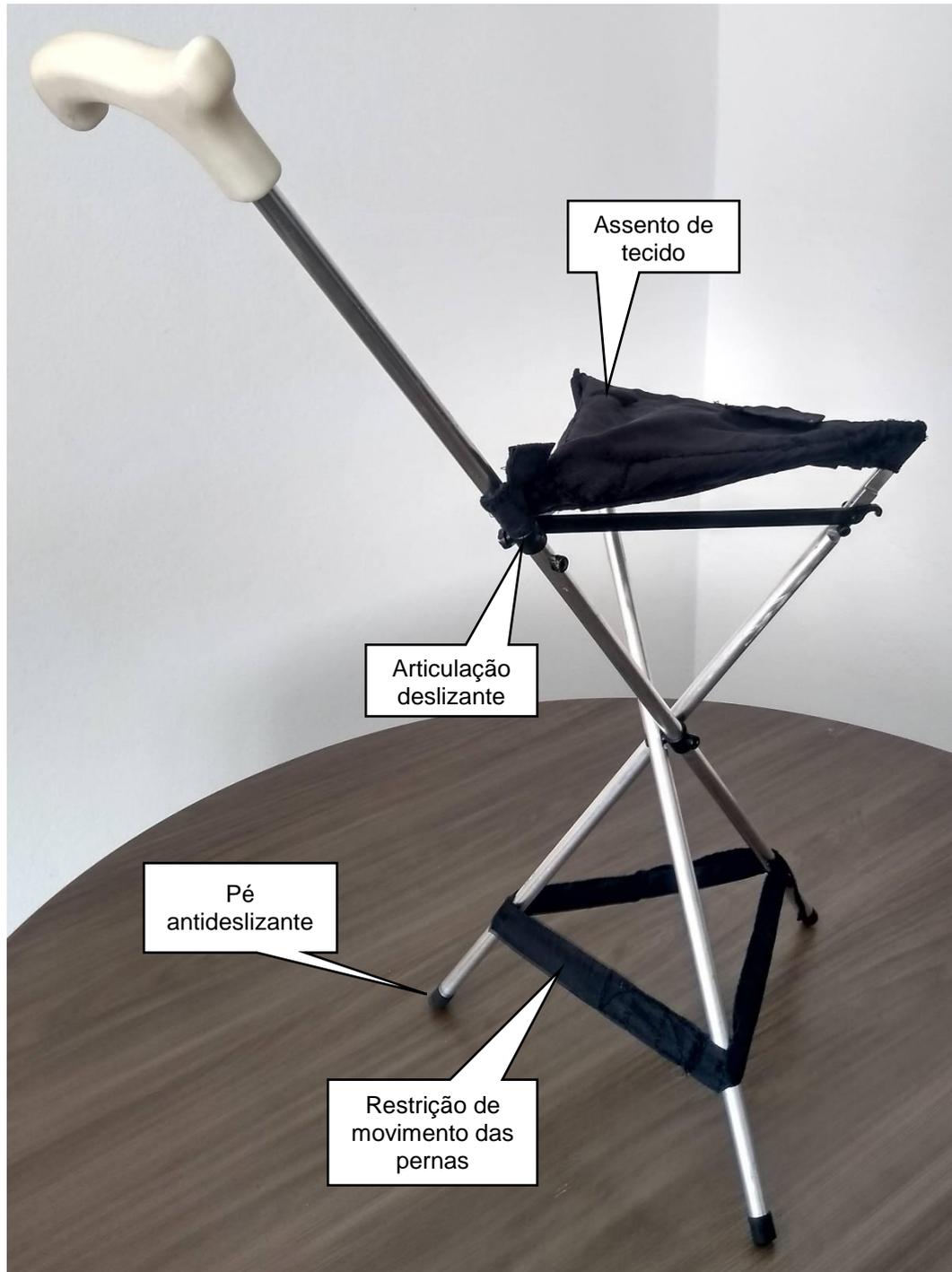
Fotografia 5 – Pés antidesslizantes de borracha (NBR)



Fonte: foto de autoria própria.

A Fotografia 6 demonstra o conjunto completo montado, onde pode ser visto a bengala com o assento aberto.

Fotografia 6 – Conjunto montado, bengala com assento aberto



Fonte: foto de autoria própria.

A Fotografia 7 destaca a junção das barras de alumínio, onde ocorre a articulação dos componentes, e o “gancho” que limita o curso de fechamento.

Fotografia 7 – Destaque da articulação fixa e limitadores de curso



Fonte: foto de autoria própria.

Na Fotografia 8 é possível visualizar a bengala com o assento fechado.

Fotografia 8 – Bengala com assento fechado



Fonte: foto de autoria própria.

A Fotografia 9 demonstra algumas dimensões finais do produto.

Fotografia 9 – Bengala aberta com dimensões principais



Fonte: foto de autoria própria.

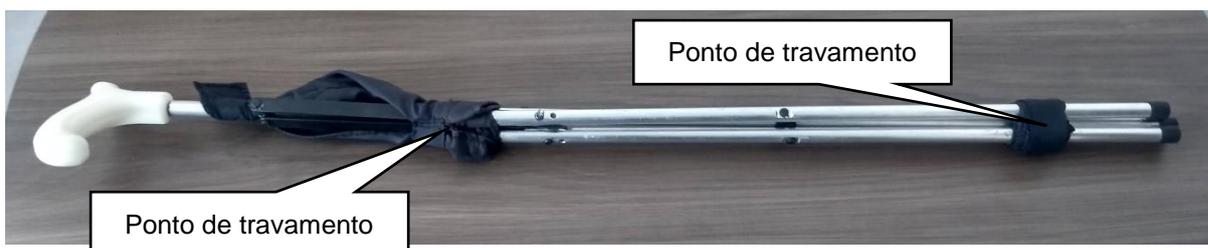
Conforme aferido em balança, o peso final do conjunto montado ficou em 1,12 kg.

4.8 Resultados dos testes de desempenho e análise estrutural

4.8.1 Teste do mecanismo de abertura do assento

Tendo o protótipo em mãos, foi possível executar o teste do mecanismo de abertura do assento. A operação se mostrou bastante simples e fácil, bastando soltar manualmente os dois pontos de travamento, ou seja, os *velcros* indicados nas Fotografia 10.

Fotografia 10 – Indicação dos pontos de travamento



Fonte: foto de autoria própria.

Na sequência, a abertura do assento é realizada empurrando-se a articulação deslizante (indicada na Fotografia 6) para baixo até a abertura completa.

4.8.2 Teste de resistência

Conforme descrito na metodologia de análise estrutural (item 3.4.1), o teste de resistência estático do assento foi realizado utilizando-se uma carga de aproximadamente 100 kgf, disposta sobre o assento. Para constituir esta carga, foi utilizado um reservatório (galão) de 20 L, do tipo que é normalmente utilizado para água, o qual foi preenchido com granalha de aço e miolo de peças de estamparia (Fotografia 11), resultando em uma mistura de densidade aproximada de 5,2 kg/L. O peso total da carga obtida foi de 103,3 kgf (Fotografia 12).

Fotografia 11 – Mistura de granalha de aço e restos de peças estampadas



Fonte: foto de autoria própria.

Fotografia 12 – Verificação do peso do galão na balança digital



Fonte: foto de autoria própria.

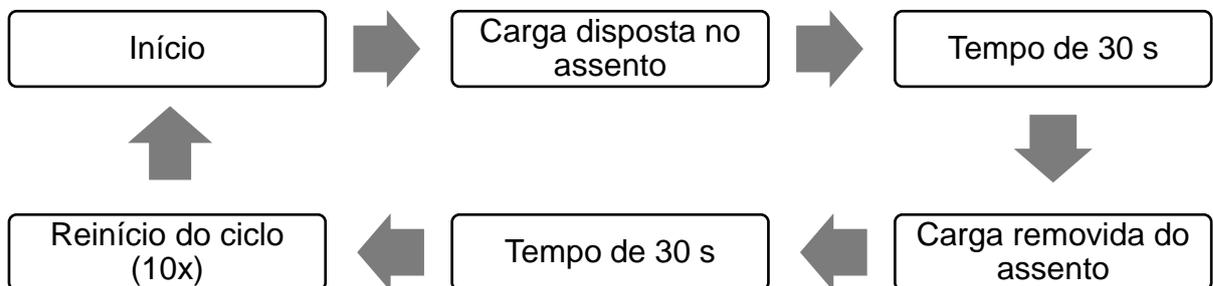
A carga foi disposta sobre o assento (Fotografia 13), conforme o seguinte ciclo de etapas: a carga é disposta no assento, deixada em repouso por um intervalo determinado de tempo, removida do assento, e reposicionada novamente no assento, reiniciando o ciclo, conforme Figura 51. Repetiu-se o processo por dez vezes, sendo que no décimo e último ciclo a carga permaneceu por 30 minutos sobre o assento.

Fotografia 13 – Disposição da carga de teste sobre o assento aberto



Fonte: foto de autoria própria.

Figura 51 – Ciclo de teste de aplicação da carga sobre o assento



Fonte: elaborado pelo autor.

Depois de efetuados os testes, não foram constatadas falhas estruturais observáveis no produto. Porém foi observado que a dimensão entre os pés da bengala/assento, passou de 330 mm (assento sem carga) para aproximadamente 334 mm (assento com carga), caracterizando uma pequena deformação de 4 mm na extremidade das pernas. Na remoção da carga a dimensão original foi restaurada, não a caracterizando como uma deformação permanente que possa danificar o conjunto.

Após o teste, o assento da bengala pôde ser fechado normalmente, não ocorrendo o comprometimento do mecanismo ou deformação dos pinos das articulações.

4.9 Resultados dos testes ergonômicos

Os resultados dos testes ergonômicos demonstraram que o produto é funcional, considerando os requisitos inicialmente propostos. O assento proporciona ao usuário uma boa postura (Fotografia 14) com uma altura adequada em relação ao chão e uma boa estabilidade.

Fotografia 14 – Posição do usuário no assento



Fonte: foto de autoria própria.

A posição da empunhadura da bengala se mantém à frente do usuário quando o mesmo se encontra sentado, permitindo que este possa manter suas mãos apoiadas, auxiliando a pessoa que está sentada a se levantar do assento.

As borrachas nos pés, cumprem seu objetivo, impedindo qualquer movimento de deslize do produto no chão.

Um ponto negativo observado com relação a ergonomia, é referente ao nível de conforto do assento, o qual, devido ao tecido e ao modelo de costura utilizado, apresentou um tamanho inferior ao previsto inicialmente. Estas condições resultaram em um assento que, quando utilizado por um período mais longo de tempo, podem gerar incômodos ao usuário, tornando a permanência no assento desconfortável.

4.10 Análise de custos

Considerando os valores pagos para fabricação dos componentes e os orçamentos levantados para uma possível fabricação em longa escala, foi gerada a Tabela 5 com os seguintes valores.

Tabela 5 – Levantamento de custos

Item	Descrição	Quantidade por conjunto	Custo para produção do protótipo	Custo com lote mínimo de 500 peças [R\$]
2021A0001	Barra principal	1	R\$ 55,00	R\$ 18,50
2021A0002	Pé antideslizante	3	R\$ 2,00	R\$ 0,55 (injeção)
2021A0005	Pernas/suportes do assento	2	R\$ 75,00	R\$ 28,25
2021A0006	Braços articuladores	2	R\$ 9,50	R\$ 4,25
2021A0007	Assento de tecido	1	R\$ 35,00	R\$ 20,00
2021A0009	Pinos fixadores	2	R\$ 14,00	R\$ 3,70
2021A00010	Empunhadura	1	R\$ 100,00	R\$ 11,40 (injeção)
2021A00011	Suporte fixo (soldado e zincado)	1	R\$ 53,00	R\$ 11,30
2021A00012	Suporte deslizante (soldado e zincado)	1	R\$ 42,00	R\$ 10,50
AE.S501.6.ZP	Anel de retenção Ø6	6	R\$ 0,50	R\$ 0,13
PF.DIN912.G. M5X8.12.9.ZP	Parafuso sextavado interno M5x8	2	R\$ 0,80	R\$ 0,39
PF.DIN912.G. M6X12.12.9.ZP	Parafuso sextavado interno M6x12	2	R\$ 0,95	R\$ 0,59
			TOTAL	R\$ 148,49

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o custo de montagem, foi considerado o valor de R\$ 30,00 por hora, e um período de tempo de montagem de 9 min e 30 s (cronometrados na montagem do protótipo), totalizando um custo operacional de R\$ 4,75.

Com o custo total dos componentes (R\$ 148,49), juntamente com o custo de montagem (R\$ 4,75), pode-se considerar um valor final de R\$ 153,24.

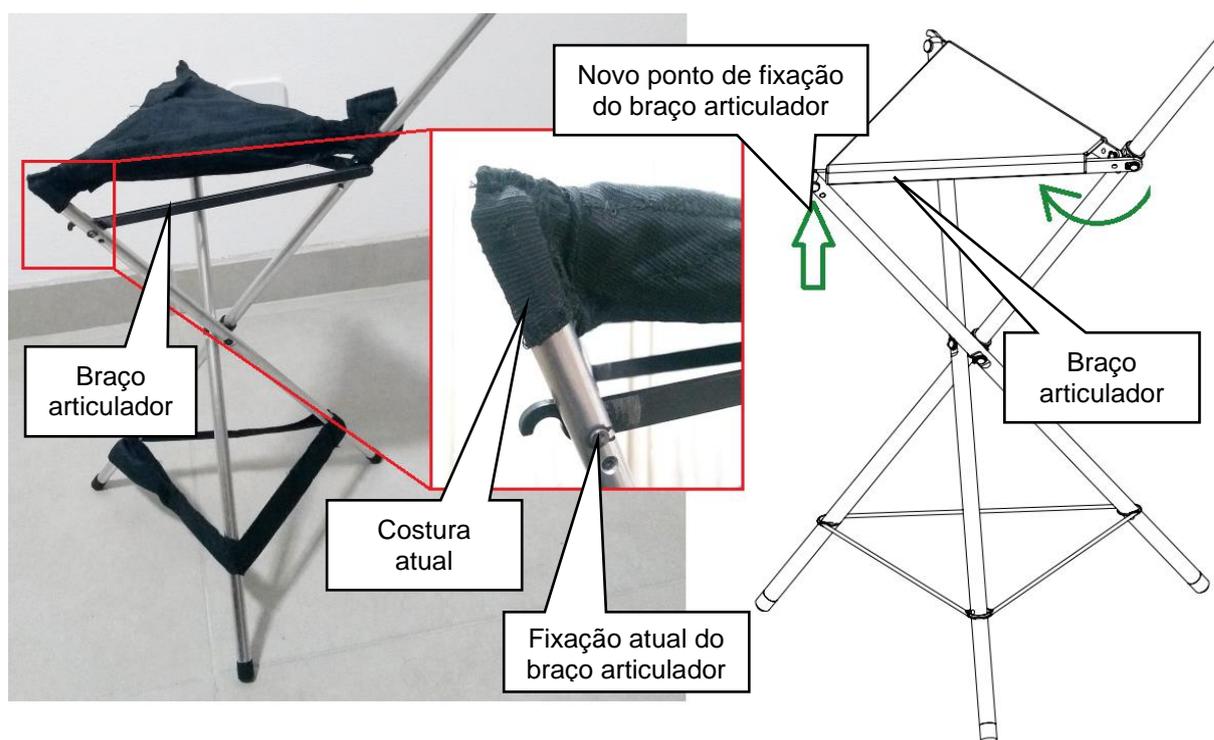
4.11 Alterações e melhorias decorrentes das análises do protótipo

Com a análise do protótipo, se tornou inevitável apontar algumas melhorias pertinentes ao projeto. Estes aperfeiçoamentos e correções eram esperados, podendo ser considerado um processo natural do desenvolvimento de um novo produto.

Entre os pontos listados, cita-se a alteração do material nos componentes fabricados em aço carbono. Considerando que este produto pode ser utilizado também em locais expostos a intempéries, a umidade pode ser um fator favorável ao surgimento de pontos de oxidação, mesmo com a existência de tratamento superficial de zinco nas chapas, pinos e peças soldadas. Uma vez que as articulações não possuem elementos rolantes, o atrito pode ocasionar a remoção do tratamento superficial em algumas regiões após algum tempo de uso. Sendo assim, se torna interessante a fabricação destes componentes em aço inoxidável, ou então, a adoção de um tratamento superficial mais adequado à aplicação.

Outro ponto pertinente é referente a melhoria das costuras realizadas no assento e o aumento de seu tamanho, de forma a sanar os problemas de desconforto citados no item 4.9. Conforme a Figura 52, uma solução para melhor fixação do assento é prendê-lo no braço articulador. Para tal o braço teria que ser fixado na extremidade superior da barra secundária, colocando-o mais próximo da altura ideal do assento.

Figura 52 – Alteração dos pontos de fixação do assento



Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Este projeto de desenvolvimento de produto apresentou grandes desafios, principalmente do ponto de vista técnico. Problemas inerentes dos projetos mecânicos, em que peso e tamanho reduzidos são importantes, tendem a ser grandes obstáculos para este tipo de desenvolvimento e apresentaram um desafio constante na elaboração dos conceitos iniciais. Apesar de problemático, estes obstáculos a serem vencidos no desenvolvimento são interessantes, pois exigem do projetista a capacidade de contornar situações apresentando às vezes soluções até mais simples do que o escopo previsto anteriormente.

Entre outras dificuldades vivenciadas neste período, observa-se que a mais relevante é a ausência de normas técnicas e legislação referente a bengalas no Brasil. Esta carência por material referente a dispositivos de auxílio à marcha tornou o trabalho de pesquisa bastante importante para a correta coleta das referências relacionadas ao assunto.

A metodologia elaborada mostrou-se bastante adequada, abrangendo desde a coleta de dados, passando pelo projeto e fabricação, e finalizando com as etapas de análise de desempenho. Considerando os resultados obtidos, pode-se afirmar que o andamento das ações se mostrou bastante satisfatório, uma vez que as etapas previstas foram executadas com sucesso.

Com relação aos resultados obtidos, obtiveram-se as seguintes conclusões:

Utilizando-se da ferramenta QFD foi possível coletar e quantificar as informações de percepção do produto com base no desejo do usuário, permitindo assim, direcionar os dados de entrada para atender este grupo específico de consumidores. Este processo foi de grande valia para o desenvolvimento, uma vez que permitiu definir os requisitos do projeto com precisão.

Foram elaborados quatro conceitos iniciais para avaliação, sendo que estes foram “filtrados” com o objetivo de determinar aquele que melhor se adequasse aos requisitos levantados no decorrer do QFD, possuindo, ao mesmo tempo, a maior viabilidade de projeto e execução. De forma bastante satisfatória, esta etapa produziu conceitos detalhados e elaborados, o que auxiliou imensamente na escolha do caminho a ser seguido. Com a definição do conceito mais promissor, o mesmo foi projetado e teve seus parâmetros estruturais definidos e calculados, concluindo-se que o mesmo é capaz de suportar os esforços determinados com segurança.

O projeto foi detalhado conforme as normativas técnicas de desenho, objetivando a fabricação das peças para a construção do protótipo. O protótipo foi então confeccionado, permitindo uma análise da qualidade dos processos de fabricação escolhidos, tempo de montagem e os custos envolvidos. Tendo o protótipo em mãos, foi possível executar os testes previstos de desempenho e resistência estrutural, comprovando que o conjunto montado estava de acordo com os cálculos de dimensionamento efetuados. Da mesma forma, o protótipo permitiu uma avaliação precisa do mecanismo de abertura e fechamento, corroborando os estudos de cinemática efetuados.

Em uma análise das características ergonômicas do produto, estes apresentaram pontos positivos com relação à postura do usuário e estabilidade, porém não atenderam ao nível de conforto esperado para o assento, deixando espaço para melhorias futuras de projeto e processo.

Considerando todos os pontos abordados e os resultados obtidos, pode-se concluir que o projeto atendeu ao objetivo de se criar um produto compacto, aliando as funcionalidades de uma bengala comum e um assento portátil, além de apresentar um design discreto, uma geometria compacta e um manuseio simples. Em paralelo, os estudos, ideias e experimentos aqui desenvolvidos permitem abrir caminhos para melhorias de projeto e aperfeiçoamento dos processos utilizados, de forma a se criar uma versão tecnicamente superior ao produto prototipado.

Por fim, concluo que o trabalho executado foi de grande valia e representou uma excelente oportunidade para ampliação de meu conhecimento como profissional da Engenharia Mecânica. Através deste trabalho, foi possível adquirir uma nova visão da metodologia de desenvolvimento, onde o foco no que o cliente enxerga como “agregador de valor” possui tanta importância quanto o desempenho do produto final.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y. "**Development History of Quality Function Deployment**". **The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment**. Minato, Tóquio: Asian Productivity Organization. p. 339. ISBN 9283311213, 1994.

ALUMICOPPER. Informações técnicas alumínio 6351. **AlumiCopper**, 2021. Disponível em: <https://www.alumicopper.com.br/pdf/aluminio/info-tec-alumi_aluminio_6351.pdf>. Acesso em: 23 Abr. 2021.

ASSIS, K. T.; RAVANELLI, F. M. D. M. Reflexões sobre o conceito de centro de gravidade nos livros didáticos. **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 2, 2008.

BARROS, F. G.; DIAS, F. M. V. Perfil cardiovascular e percepção da fadiga. **Unidade Federal do Espírito Santo**, 2014. Disponível em: <http://www.fisioterapia.ufes.br/sites/fisioterapia.ufes.br/files/field/file/perfil_cardiovascular_e_percepcao_da_fadiga.pdf>. Acesso em: 05 Set. 2020.

BERSCH, R.; SARTORETTO, M. L. Tecnologia Assistiva. **Assistiva Tecnologia e Educação**, 2020. Disponível em: <<https://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>>. Acesso em: 25 Set. 2020.

BLACKLER, A. et al. Seating in aged care: Physical fit, independence and comfort. **NCBI - National Center for Biotechnology Information**, 2018. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5758957/#:~:text=Studies%20of%20seating%20for%20older,470%20mm%20with%20a%20footrest.&text=According%20to%20Christenson%2C15%20chair,should%20not%20exceed%20431%20mm.>>>. Acesso em: 18 Mar. 2021.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M.; HUSSEY, S. M. **Assistive Technologies: Principles and Practice**. 3ª. ed. St. Louis, Missouri: Mosby, 1995.

DOGRU, E. et al. The effect of walking sticks on balance in geriatric subjects. **Journal of Physical Therapy Science**, 2016. Disponível em:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5276740/#:~:text=It%20was%20observed%20that%20the,and%20the%20risk%20of%20falling.>>. Acesso em: 05 Set. 2020.

GASKIN, S. P. et al. Voice of the Customer. **MIT - Massachusetts Institute of Technology**, 2009. Disponível em: <https://www.mit.edu/~hauser/Papers/Gaskin_Griffin_Hauser_et_al%20VOC%20Encyclopedia%202011.pdf>. Acesso em: 13 Set. 2020.

GENTRY, B. Quality Function Deployment. **What is Six Sigma?**, 2020. Disponível em: <<https://www.whatissixsigma.net/house-of-quality-qfd/>>. Acesso em: 11 Set. 2020.

GLISOI, S. F. N. et al. Dispositivos auxiliares de marcha: orientação quanto ao uso, adequação e prevenção de quedas em idosos. **Geriatrics, Gerontology and Aging**, 2012. Disponível em: <<http://ggaging.com/details/190/pt-BR#:~:text=Sua%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20se%20d%C3%A1%20na,como%20subir%20e%20descer%20escadas.>>. Acesso em: 27 Set. 2020.

HAKIM, A. A. et al. Effects of Walking on Mortality among Nonsmoking Retired Men. **The New England Journal of Medicine**, 1998. Disponível em: <<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199801083380204>>. Acesso em: 5 Set. 2020.

HATEM, M. Bengalas, muletas e andadores – Tipos e usos. **Quadril Cirurgia**, 2013. Disponível em: <<https://www.quadrilcirurgia.com.br/bengalas-e-muletas.html>>. Acesso em: 27 Set. 2020.

HOVAILO, O. How to measure your walking cane, stick size. **Art Walking Sticks**, 2020. Disponível em: <<https://artwalkingsticks.com/blogs/blog/how-to-measure-your-walking-cane-stick-size>>. Acesso em: 18 Mar. 2021.

IBGE. População. **IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 27 Nov. 2020.

INMETRO. Cadeiras plásticas II. **INMETRO - Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade e Tecnologia**, 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/cadeira2.asp?iacao=imprimir#ensaios>>. Acesso em: 15 Nov. 2020.

MACHINE. **The american heritage dictionary of the english language**, 2020. Disponível em: <<https://ahdictionary.com/word/search.html?q=machine>>. Acesso em: 7 Set. 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Patentes. **INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial**, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes>>. Acesso em: 4 Out. 2020.

MORTADA, A. Quality Function Deployment (QFD). **Academia.edu**, 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/11832383/Quality_Function_Deployment_QFD_>. Acesso em: 11 Set. 2020.

MOTT, R. L. **Machine elements in mechanical design**. 4^a. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas - Uma abordagem integrada**. 4^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

REDDOT. Tri Cane. **RedDot**, 2019. Disponível em: <<https://www.red-dot.org/project/tri-cane-40510>>. Acesso em: 26 Nov. 2020.

RESNIK, L. et al. Perspectives on Use of Mobility Aids in a Diverse Population of Seniors: Implications for Intervention. **US National Library of Medicine**, 2009.

Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2768139/>>. Acesso em: 5 Set. 2020.

SEARCHING for patents. **European Patent Office (EPO)**, 2020. Disponível em: <<https://www.epo.org/searching-for-patents.html>>. Acesso em: 11 Out. 2020.

SILVA, L. P. M. Relações métricas no triângulo equilátero inscrito. **Brasil Escola**, 2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/matematica/relacoes-metricas-no-triangulo-equilatero-inscrito.htm>>. Acesso em: 17 Mar. 2021.

SONG, S.; GEYER,. Predictive neuromechanical simulations indicate why walking performance declines with ageing. **The Journal of Physiology**, 2018. Disponível em: <<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/JP275166>>. Acesso em: 05 Set. 2020.

VALENTINI, C. B.; BISOL, C. A. Recursos para promover autonomia e qualidade de vida. **Projeto Incluir – UCS/FAPERGS/CNPq**, 2017. Disponível em: <<https://proincluir.org/tecnologia-assistiva/recursos/>>. Acesso em: 27 Set. 2020.

WALKING STICKS. Walking Stick Handle Guide. **Walking Sticks**, 2017. Disponível em: <<https://www.walkingsticks.co.uk/blog/walking-stick-handle-guide.html>>. Acesso em: 27 Mar. 2021.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Assistive technology. **WHO - World Health Organization**, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/assistive-technology#tab=tab_1>. Acesso em: 25 Set. 2020.